



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika

## MOBIILSE ENERGIAJAAMA ELEKTRI- JA AUTOMAATIKAPROJEKT

### ELECTRICAL AND AUTOMATION PROJECT FOR MOBILE ENERGY STATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kelly Kangur  
/nimi/

Üliõpilaskood 221416AAAM  
Tormi Lillerand, nooremteadur  
Anton Rassõlkin, kaasprofessor

Juhendaja: tenuuris  
/nimi, amet/

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Kelly Kangur (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
Mobiilse energiajaama elektri- ja automaatikaprojekt,  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Tormi Lillerand ja kaasjuhendaja Anton Rassõlkin,  
(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna  
Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse  
tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu,  
sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse  
kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka  
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Kelly Kangur

*Lõputöö liik:* Magistritöö

*Töö pealkiri:* Mobiilse energiajaama elektri- ja automaatikaprojekt

*Kuupäev:*  
13.05.2024

108 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Tormi Lillerand, Anton Rassõlkin

*Töö konsultant (konsultandid):* Jüri Olt

*Sisu kirjeldus:*

Magistritöö eesmärk on projekteerida elektri- ja automaatikasüsteem mobiilsele energiajaamale. Mobiilse energiajaama elektritootmine toimub läbi päikesepaneelide. Energiajaamale on paigaldatud 22 päikesepaneeli, koguvõimsusega 6820 W. Projektis on arvestatud sekundaarse energiaallikaga LPG generaatori näol.

Automaatikaosas lahendatakse päikesepaneelide automaatne liigutamine vastavalt päikesetõusunurgale. Kasutades seejuures Siemensi kontrollereid ja astronoomilist kella.

Magistritöö väljundiks on valmis ehitatud elektri- ja automaatikasüsteem mobiilsele energiajaamale ning teostatud esmased katsetused.

*Märksõnad:* mobiilne, energiajaam, MPPT, inverter, automatiseerimine, päikese jälgimine, Siemens.

# THESIS ABSTRACT

*Author:* Kelly Kangur

*Type of the work:* Master Thesis

*Title:* Electrical and automation project for mobile energy station

*Date:* 13.05.2024

108 pages (the number of thesis pages including appendices)

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* Tormi Lillerand, Anton Rassõlkin

*Consultant(s):* Jüri Olt

*Abstract:*

The aim of the master's thesis is to design the electrical and automation system for a mobile energy station. The electricity generation of the mobile energy station is carried out through solar panels. A total of 22 solar panels with a capacity of 6820 W are installed on the energy station. The project also considers a secondary energy source in the form of an LPG generator.

The automation system involves automatically adjusting the position of the solar panels according to the angle of sunrise, using Siemens controllers and an astronomical clock.

The output of the master's thesis is a fully constructed electrical and automation system for the mobile energy station, along with initial testing conducted.

*Keywords:* mobile, power plant, MPPT (Maximum Power Point Tracking), inverter, automation, solar tracking, Siemens.

**TalTech Elektroenergeetika ja mehhatroonika**  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Kelly Kangur, 221416AAAM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: AAAM Energiamuundus ja juhtimissüsteemid(kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Tormi Lillerand, nooremteadur, +372 5674 7717  
Anton Rassõlkin, kaasprofessor tenuuris, 620 3202  
(amet, nimi, telefon)  
**Konsultant:** Jüri Olt, professor (nimi, amet)  
Eesti Maaülikool, +372 731 3358, jyri.olt@emu.ee (ettevõtte, telefon, e-post)

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) Mobiilse energiajaama elektri- ja automaatikaprojekt  
(inglise keeles) Electrical and automation project for mobile energy station

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Sobivate seadmete valik mobiilsele energiajaamale
2. Lahendada päikesepaneelide liigutamine automaatselt vastavalt päikese tõusunurgale
3. Ehitada valmis elektri- ja automaatikasüsteem mobiilsele energiajaamale

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade	15.09.2023
2.	Energiahankimise ja salvestamise seadmete valik	31.10.2023
3.	Projekti koostamine	02.01.2024
4.	Tiibade liigutamise loogika lahendus	04.03.2024
5.	Paigaldustööde teostamine	10.04.2024
6.	Katsetused	22.04.2024

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "13" mai 2024a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

## SISUKORD

EESSÕNA.....	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	11
2.1 Töö aktuaalsus .....	11
2.2 Patendiuring .....	11
2.3 Turu-uuring.....	15
2.4 Kokkuvõte.....	19
3. PROJEKTEERIMINE.....	21
3.1 Projekteerimise tingimused .....	21
3.2 Elektriosa .....	22
3.2.1 Laadimiskontroller .....	25
3.2.2 Inverter .....	27
3.2.3 Aku .....	27
3.2.4 Kaablite valik .....	27
3.2.5 Kaitseseadmete valik .....	32
3.2.6 Potentsiaaliühtlustus.....	36
3.3 Automaatika.....	37
3.4 Päikese jälgimine .....	38
3.5 Programmi koostamine .....	39
4. ELEKTRI- JA AUTOMAATIKASÜSTEEMI KOOSTAMINE.....	49
4.1 Kommunikatsioon .....	49
4.2 Energiavoog stendil .....	51
4.3 Paigaldustööd .....	53
4.4 Katsetused .....	58
4.5 Kulu arvestus .....	60
4.6 Edasised arendused.....	62
KOKKUVÕTE.....	63
SUMMARY .....	65
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	67
LISAD.....	71

## **EESSÕNA**

Magistritöö ülesanne on püstitatud Eesti Maaülikooli poolt. Tegemist on arendus- ja teadusprojektiga EAG304 Autonoomne energiajaam, mille projektjuhiks on professor Jüri Olt. Antud magistritöö raames lahendatakse elektri- ja automaatikasüsteem. Sealhulgas teostatakse paigaldustööd ja katsetused. Energiajaam koostati Eesti Maaülikooli Tehnikamaja garaažis.

Autor soovib tänada töö juhendajat abi ja tagasiside eest kogu töö kestvuse jooksul.



# 1. SISSEJUHATUS

Asustamata ja elektriliitumiseta piirkondades on elektritööriistade ja sõidukite jätkusuutlik kasutamine piiratud elektrienergia kättesaamatuse tõttu. Elektrilevita piirkondades puudub akude taas laadimise võimalus ilma statsionaarsete lisaseadmete või generaatoriteta. Projekt sobib hästi rohepöördega, kuna toodetav elektrienergia on roheline, ehk CO<sub>2</sub> emissioon on 0.

Mobiilne energiajaam on võimeline tootma ja salvestama elektrienergiat olenemata asukohast. Sellisteks kohtades on näiteks põllud, talud, asustamata alad, saared, kriisiolukorrad, mobiilsed välihaiglad jne.

Antud magistritöö raames lahendatakse mobiilse energiajaama elektri- ja automaatikasüsteem ja teostatakse paigaldus prototüüp projektile. Tegemist on Eesti Maaülikooli teadus- ja arendusprojektiga EAG304. Töös on keskendutud elektri-ja automaatika komponentide kombineerimisele üheks tervikuks.

Mobiilne energiajaam toodab elektrienergiat kasutades päikesepaneele. Päikesejaam on maanteel transporditav, omab kehtivat tehnöülevaatust, ning on tänavalegaalne. Mobiilse energiajaama kogu päikesepaneelide arvutuslik koguvõimsus on 6820 W. Jaamale integreeritakse alternatiivenergia energiaallikas, milleks on LPG generaator. Kogu elektrisüsteem projekteeritakse primaar-ja sekundaar energia allikate paralleelseks kasutamiseks.

Lahendatakse elektri- ja automaatikaprojekt algusest lõpuni. Projekteerimise faasis joonestatakse mobiilse energiajaama elektriskeemid, mis on paigutatud lisadesse. Elektriskeemid joonestatakse kasutades CADMATIC tarkvara. Elektrisüsteemi projekteerimise faasis lahendatakse mobiilse energiajaama energia hankimise ja talletamise süsteem. Sealhulgas valitakse sobivad kaablid ja kaitseseadmed.

Automaatikasüsteemi lähteülesandeks on autonoomse energiatootmise jaama automaatika konstrueerimine. Automaatikasüsteemiga lahendatakse energiajaama päikesepaneelidega kaetud tiibade liigutamine vastavalt päikese tõusunurgale. Automaatikasüsteem peab tagama päikesejaama töö ilma operaatori sekkumiseta. Automaatikasüsteemis lahendatakse kontrolleri ja andurite valik ning koostatakse programm süsteemi juhtimiseks.

Programm koostatakse kahe tarkvaraga – Siemens TIA v19 ja LOGO soft comfort V8.4. Automaatikasüsteemis lahendatakse päikesepaneelide liigutamine vastavalt päikese tõusunurgale.

Lisaks süsteemide projekteerimisele on magistritöös ka praktiline osa – paigaldus. Paigaldusetapis koostatakse kogu elektri-ja automaatikasüsteemi komponendid mobiilsele päikesejaamale. Teostatakse päikesepaneelide omavahelised ühendused. Magistritöö raames töö autor projekteerib ja koostab elektrikiilbid.

Viimases magistritöö etapiks on energiajaama katsetamine. Katsetamise käigus kogutakse andmeid jaama töö kohta tulemuste hindamiseks.

## **2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE**

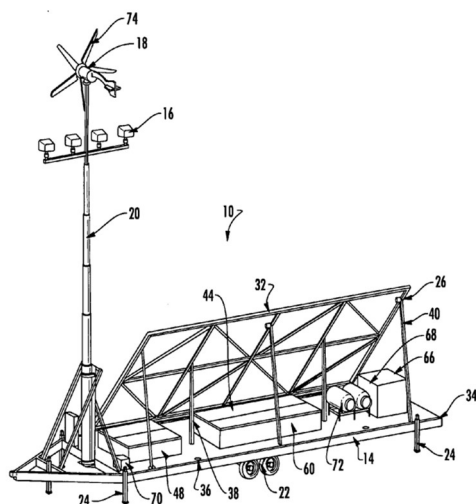
### **2.1 Töö aktuaalsus**

Seoses suureneva energiavajadusega elektrivaldkonnas, kasutatakse järjest rohkem elektrijõul töötavaid seadmeid, tööriistu ja sõidukeid. Seadmete elektrienergiaga varustamine on limiteeritud elektrilevita piirkondades, asutamata aladel, kriisiolukordades. Käesoleva lõputöö on osa mobiilse energiajaama projektist, mis on võimeline elektrienergiat tootma ja salvestama sõltumata asukohast ja piirkonnast. Piirkonnaks saab nimetada näiteks suured põllud, talud, saared, maakohad, kriisiolukorrad, sõjaväe rajatised, mobiilsed välihaiglad jne. Väljundeid on väga palju.

### **2.2 Patendiuuring**

Mobiilne energiajaam on tootearenduse projekt. Iga tootearenduse esimene etapp on turu-uuring. Enne kavandamist on oluline analüüsida turul olevaid seadmeid, pakutavaid lahendusi ja tehnilist taset turul olevatel seadmetel. Oluline on mõista olemasolevat konkurentsi ja turul valitsevat tehnoloogiat. Patendiuuringuks kasutati Google Patent andmebaasi. Patendiuuringuga otsiti patente mobiilsete energiajaamade ja automaatselt päikesepaneelide liigutamise kohta.

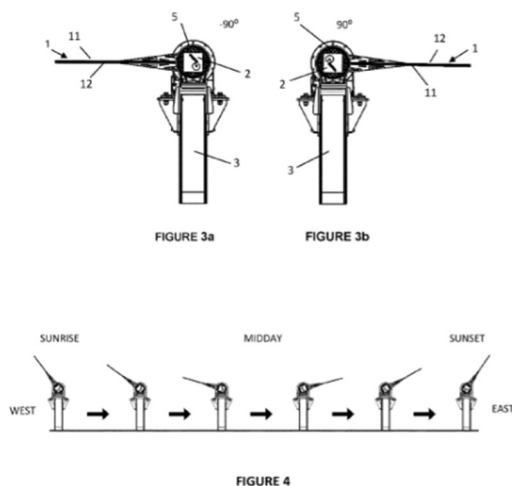
Esimeseks uuritavaks on patent numbriga US 2014/0285005 - Päikeseenergia jaam, mis laeb akusid transpordi ajal. Tegemist on haagisele ehitatud energiajaamaga (Joonis 2.1). Energiat toodetakse päikesepaneelide abil. Lisa võimalusena on võimalik süsteemi integreerida tuulegeneraator ja fossiilseid kütuseid tarbiv tagavara generaator. Energiajaama peamiseks eeliseks on akude laadimine transpordi ajal. Transpordiajaks on võimalik päikesepaneelid kokku voltida. Kokku on antud energiajaamal 8 päikesepaneeli. Tuulegeneraator on paigaldatud teleskoop mastile. Teleskoop mastile on paigaldatud lisaks veel LED prožektorid. Teleskoobi maksimaalne pikkus on 12 meetrit [1].



Joonis 2.1. Patent US 2014/0285005 [1]

Tarbida on võimalik vahelduvvoolu või alalisvoolu vastavatest ühenduskohtades. Täis laetud akudega on võimalik konstantselt tarbida 4000 W 230 V AC umbes 18 tundi. Akude pinge väärtuse kukkumisel kriitilisele piirile lülitatakse automaatselt sisse tagavara generaator, mis aitab tagada 4000 W ning samal ajal laeb ka akusid. Energiajaama ette otsa on paigaldatud ekraan, mis kuvab akupanga pingeväärtust ja inverterilt tarbitavat võimsust. Samuti ohutuse tagamiseks asub seal hädaolukorra stoppnupp [1].

Teiseks uuritavaks on patent numbriga EP4002685A1 - Üheteljeline päikesejälgimine ja selle töömeetod. Patent kirjeldab üheteljelise päikesejälgimise meetodeid. Kasutatud on kahepoolseid päikesepaneele. Paneelid on paigaldatud madalale profiilile, et vähendada tuuletakistust (Joonis 2.2). Päikesepaneeleid on paigaldatud pööratavale torule, mis liigutab päikesepaneel idast läände või vastupidi kasutades selleks DC mootorit. Antud süsteem on suure kasuteguriga kasutades maksimaalselt ära kahepoolseid päikesepaneele. See juures on konstruktsiooni valmistamiseks kasutatud vähe materjali.

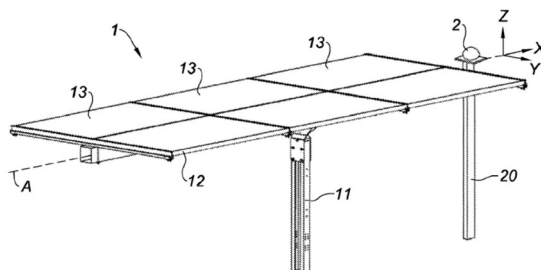


Joonis 2.2. Patent EP4002685A1 [2]

Päikesepaneelide liigutamine toimub järk-järgult vastavalt päikese liikumisele. Koidust lõunani suunatakse päikesepaneeli esikülg 90 kraadi päikese suhtes. Peale lõunat on päikesepaneeli tagakülg suunatud päikese poole. Suure tuule korral saab päikesepaneeli asetada horisontaalsesse asendisse, mis on posti suhtes risti või ületab seda. [2]

Kolmandaks uuritavaks patendiks on patent numbriga US20240012082A1- Meetod päikesejälgija orientatsiooni juhtimiseks kartograafiliste mudelite põhjal [3]. Päikesejälgimise süsteemis kasutatakse astronoomilist kella kui ka kartograafilisi mudeleid.

Paneeli nurka määratakse kontrollsüsteemiga, mis koosneb mitmest moodulist. Esimeseks on kartograafiline moodul, mis kaardistab iga vaatlusega päikese heleduse ja päikese langemise nurga, tähistatud joonisel 2.3 numbriga 2. Saadud tulemust võrreldakse andmebaasis olevate kartograafiliste mudelitega. Andmebaasis on igale kartograafilisele mudelile määratud vastav nurgaväärtus.



Joonis 2.3. Patent numbriga US20240012082A1. Üheteljeline päikesejälgimisesüsteemi ehitus [3]

Järgmises etapis võrreldakse eelmises etapis saadud paneeli nurka ja paneeli enda hetkelist nurka. Paneelinurk tuleneb astronoomilisest kellast, mille abil arvutatakse reaajas päikese asukoht ning sellele vastav paneeli nurk. Kartograafilise mooduli eesmärgiks on muuta päikesepaneeli nurka kui taevast on pilvine. Jooniselt 2.4 on näha, kuidas päikese kiirgus murdub läbi pilvede.

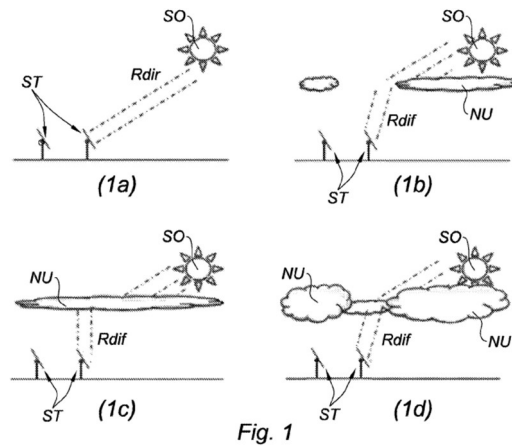
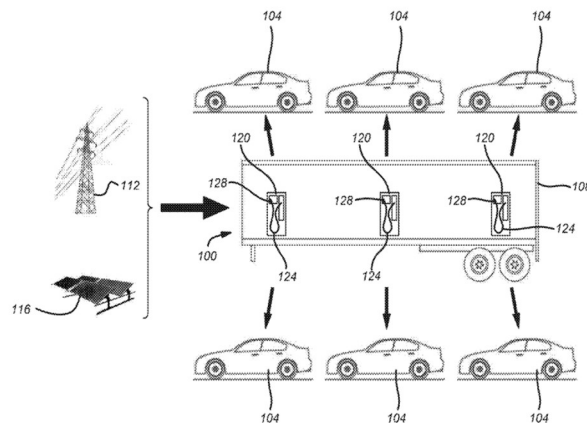


Fig. 1

Joonis 2.4. Patent numbriga US20240012082A1. Päikese kiirgus läbi pilvede [3]

Neljas patent on numbriga US2023369869A1 - Mobiilne laadimisjaam [4]. Mobiilne laadimisjaam koosneb haagisest, kuhu on paigaldatud akud ja mitu kiirlaadijat (Joonis 2.5).



Joonis 2.5. Patent numbriga US2023369869A1 [4]

Tegemist on 5 meetrilise veoauto haagisega, kuhu on mahutatud vähemalt 2500 pliiakut. Akude laadimine toimub, kas katusele paigaldatud päikesepaneelide abil või läbi elektrivõrgu. Samuti on võimalus lisada generaator, mis akusid laeks. Samaaegselt saab laadida mitut elektrimootoriga sõidukit [4].

Tabel 2.1. Patendiuringu tulemus

<b>Patent</b>	<b>Plussid</b>	<b>Miinused</b>
US 2014/0285005 Päikeseenergia jaam, mis laeb akusid transpordi ajal	Alternatiivenergia võimalus tuulegeneraatori ja diisलगeneraatori. Akude laadimine transpordil.	Ühe faasiline Paneelide nurk ei ole muudetav automaatselt Treiler ei ole kasutatav haagisena (kogu pind kasutatud).
EP4002685A1 Üheteljeline päikesejälgimine ja selle töömeetod	Automaatne päikesepaneelide liigutamine päikesetõusunurga suhtes Tuule kiiruse jälgimine	Rasked paneelid, Teine pool paneelist pool päeva varjus
US20240012082A1 Meetod päikesejälgija orientatsiooni juhtimiseks kartograafiliste mudelite põhjal	Automaatne päikesepaneelide liigutamine päikesetõusunurga suhtes	Keeruline päikesejälgimise süsteem Vajab suurt andmemahtu karograafiliste kaartide jaoks
US2023369869A1 Mobiilne laadimisjaam	Elektriauto kiirlaadimise võimekus ilma elektrivõrguta asukohtades Laadimisjaama akude võrgust laadimise võimekus	Vähe päikesepaneele

Patendiuringust selgub, et sarnaselt püstitatud ülesande lahendamiseks on kasutatud erinevaid lähenemisi lõpptulemuse saavutamiseks. Töö autor on arvesse võtnud lahenduste head omadused, ning vältinud miinuste veerus välja toodud negatiivseid toote omadusi.

## 2.3 Turu-uuring

Turu-uuringu eesmärk on analüüsida turul saadaolevaid lahendusi ning tehnoloogiaid nende juures. Turu-uuring on aluseks arendatavale mobiilsele energiajaamale. Mobiilse energiajaama turu-uuringu tingimuseks on maantee transporditav energiajaam. Autor valis välja neli toodet, mida analüüsida.

The Solar Sentry Trailer on disainitud ja toodetud Lõuna-Aafrikas (Joonis 2.6). Ette on nähtud kasutada eelkõige öösel maanteed kontrollpunktides. Seadmel on 4x100 W prožektorid, mis valgustavad teepinda, et korraakaitsetel oleks välioperatsioonide ajal ohutum töökeskkond. Tegemist on väikese ja kergesti transporditava haagisega. Valgustid on paigaldatud teleskoop mastile, mille maksimaalne pikkus on 3 meetrit [5].

Haagisel on lisa vahelduvvoolu pistikupesad, millega on võimalik laadida vahelduvvoolul töötavaid elektriseadmeid. Päikesepaneelidega on võimalik laadida kuni 6 kWh akupanka. Võimalik on lisada kuni 24 kWh võimsusega akupank, mida on võimalik laadida 220 V vahelduvvooluvõrgust enne sihtkohta jõudmist. Mis teeb süsteemi kogumahtuvuseks 30 kWh. The Solar Sentry Traileriga on võimeline kuni 28 tundi valgustama teed kasutades võimsaid valgusteid [5].

Antud haagis on ette nähtud maantee valgustamiseks, kuid ettevõtte pakub ka võimalust tellija poolsete soovide järgi kohandatud disaini. Antud haagise hind ei ole avalik, hinna teada saamiseks tuleb saata päring soovitud konfiguratsiooniga. Lõpphind sõltub tellitavast lisavarustusest.



Joonis 2.6. The Solar Sentry trailer [5]

Biglux Mobile Solar Power Trailer [6] on Hiinas valmistatud mobiilne päikeseenergiajaam (Joonis 2.7). Eesmärk on kasutada nii tööstuses, ehitus kui ka avalikus sektoris. Eesmärk on kasutada haagist kohtades, kus puudub elektrivõrgu ühendus, ning elektrienergia tagamine on vajalik seadmete tööks. Tegemist on universaalse energiajaamaga, millel on suure mahtuvusega akupank.

Energiajaam on varustatud päikesepaneelidega koguvõimsusega 7,36 kW. Akupank on mahtuvusega 38 kWh. Tegemist on 12 V akudega, mida on antud jaamas 32 tükki. Käesoleval Biglux Mobile Solar Power haagis on baasvarustuses adapter sisse ehitatud akude laadimiseks vahelduvvoolu pesast. See tähendab, et enne väljasõitu on võimalik vahelduvvoolu pistikust akud täislaadida. Jaamal on kolm erineva asukohaga väljundpistikut.





Joonis 2.7. Biglux Mobile Solar Power Trailer [6]

Jaama saab ühendada kolm erinevat tarbijat elektrienergia ülekandmiseks tarbijale. Päikesepaneelid on transpordiks kokku pakitavad. Sihtkohta jõudes pakitakse need manuaalselt lahti ning suunatakse päikese poole. Tegemist on väga raske, kaaludes üle 5000 kg, seega sõiduautoga käesolevat energiajaama Eesti teedel transportida ei saa.

Kolmas turul olev energiajaam on RPS Solar pumps [7], mis on Ameerika toode (Joonis 2.8). Eelkõige on energiajaam ette nähtud Ameerika farmidesse ja rantšodesse, kus puudub elektrivõrgu ühendus. Energiajaamaga toidetakse veepumpasid, elektritööriistu, keevitusseadmeid ja elektritraktoreid. Samuti on võimalik toita kõiki kodus olevaid kodumasinaid.



Joonis 2.8. RPS Solar pumps [7]



Tabel 2.2 Turu-uuringu kokkuvõte

	<b>The solar Sentry haagis [5]</b>	<b>Biglux Mobile Solar Power haagis [6]</b>	<b>RPS solar pumps haagis Sun Titan L20 [7]</b>	<b>OK Solar haagis [8]</b>
Päikesepaneelid	4x300 W, 1200 W	16x460 W, 7360 W	8x345 W, 2760 W	8x300 W, 2400 W
Inverter	Victron Energy 3kVA	10kW/10kVA 50/60 Hz, Puhas siinuslaine	Hübriid inverter, 10 kW. Puhas siinuslaine	5 kW ühefaasiline inverter
Aku	LiFePO4 akud, 10 kWh  Lisaks tagavara akupank 24 kWh	Pliihappe akud 32x200 Ah, 12 V DC, 38,4 kWh	4x LiFePO4 51,2 V/100Ah/5.1kWh Kogumahtuvusega 20,4 kWh	Geelakud Kogumahtuvus 57,6 kWh
Akude laadimine võrgust	Jah	Jah	Jah	Jah
Laadimiskontroller	-	2x80 A MPPT	-	4xMPPT 150 V 30 A
Generaator	-	-	Võimalus lisada gaasi- või diisलगeneraator	Diisलगeneraator 100 kVA, 3 faasi, 240 V, 60 Hz
Faaside arv	1	1	1	1 või 3
Paneelide liigutamine	Pole liigutatavad	Manuaalselt	Manuaalselt	Manuaalselt
Integreeritav valgustimast	Jah	Ei	Jah	Jah
Mass	-	5000 kg	1475 kg	4480 kg

## 2.4 Kokkuvõte

Turu uuringus analüüsiti nelja turul olevat mobiilset energiajaama. Kõiki energiajaamad on transporditavad mööda maanteed ja elektrienergia tootmiseks kasutatakse päikesepaneele. The Solar Sentry trailer on ette nähtud maanteede kontrollpunktide valgustamiseks ja elektriseadmete laadimiseks. Valgustus mast on integreeritud ka RPS

Solar pumps treilerile. Antud treiler on ettenähtud Ameerika farmide ja rantšode elektrienergiaga varustamiseks ning samuti öisel ajal valgustamiseks.

RPS Solar pumps ja OK Solar energiajaamale on võimalik juurde integreerida generaator. Viimasel on võimalus juurde lisada diisलगeneraator. RPS Solar pumps pakub võimalust juurde integreerida gaasi- või diisलगeneraator.

Kõigil valitud mobiilsetel energiajaamadel on energia salvestamise võimalus. Populaarsem valik on LiFePO4 akupank. Samuti on kõigil võimalik laadida akud täis vahelduvvoolu võrgust enne elektritaristuta piirkonda viimist. Kõige suurema akumahtuvusega on OK Solar treiler. Kuid tegemist on väga raske ja vähese elektrienergia tootmisega energiajaamaga.

Valitud toodetest ainult ühel on võimalik tarbida kolme faasi pealt ning seda ka generaatori pealt. Lisa energiaallikas teeb energiajaama efektiivsemaks. Tuleb arvestada, et maailm liigub rohelisema energiatootmise poole. Tuleks valida lisaenergiaallikaks ka vähese CO<sub>2</sub> emissiooniga generaator. Seega antud variantide poolest sobiks RPS Solar Pumps haagis, mis pakub gaasi peal töötavad generaatorit. Samuti on tegemist kerge järelhaagisega, 1475 kg. Siia juurde pole arvestatud generaatori massi.

The Solar Sentry treileri paneelide nurk ei ole muudetav, paneelid on juba paigaldatud haagisele fikseeritud nurga all. Teiste väljavalitud toodete paneelid on võimalik manuaalselt tõsta soovitud nurga alla. Kasutades selleks näiteks hüdraulikat ja pulti.

Antud arendustöö projektiga arendatava mobiilse energiajaama eelisteks turul olevate energiajaamade ees on:

- automaatne paneelide liigutamine,
- primaarne energiatootmine toimub kasutades päikeseenergiat,
- sekundaarne energiatootmine toimub kasutades LPG generaatorit,
- CO<sub>2</sub> emissioon on 0,
- kolme faasiline,
- kerge massi tõttu sobib mitmesugustele pinnastele,
- puudub operaatori sekkumise vajadus,
- kasutatav haagisena.

## **3. PROJEKTEERIMINE**

### **3.1 Projekteerimise tingimused**

Tegemist on Eesti Maaülikooli teadus- ja arendusprojektiga EAG304 [9], mis on jätkuprojekt projektile number PM210001TIBT [10]. Varasemas arendustöö etapis on lahendatud konstruktiivne osa. Energiajaama alumiiniumsulamist konstruktsioon on ehitatud suurimale olemasolevale Tiki treilerile CP600-3500 kg (Joonis 3.1). Valitud on lineaarsed ajamid, mis on võimelised päikesepaneelide liigutama ümber fikseeritud telje. Samuti on lahendatud päikesepaneelide valik ja paigutus. Lahenduse kogumass on hoitud võimalikult minimaalsena. Termotöödeldud alumiiniumsulamist sõrestik, ning kerged päikesepaneelid hoiavad mittestatsionaarse energiajaama kogumassi madalana.

Suletav ja lukustatav ümbris hoiab päikesejaamale paigutatud komponendid sademete eest. Päikesepaneelid on paigaldatud hermeetiliselt. Puudub sademete sattumise võimalus nii transpordis, kui ka töösendis energiat tootvate komponentide vahele, tagades pikema eluea energiajaamale.

Energiajaama külgseinad (tiivad) on liigutatavad lineaarajamitega. Tiivad on võimelised liikuma kuni 45 kraadi üle katuse tasapinna. Igale küljele on paigaldatud päikesepaneelid, lisaks hooldejaama katusele. Paigaldatud on 22x310 W paneelid, koguvõimsusega 6820 W.

Projekti energiasüsteemile tuleb integreerida sekundaarne energiaallikas, milleks on LPG generaator. LPG generaator on mõõtmetelt väiksem kui diisलगeneraator ja kaalu poolest kergem. Tiki haagise pindala on väike ja seadmeid palju, mistõttu LPG generaator on parim valik. Lisaks on see keskkonnasõbralikum.

Antud magistritööga tuleb anda lahendus elektrienergia hankimisele ja talletamisele. Projektiga tuleb lahendada päikesepaneelidega kaetud tiibade liigutamine vastavalt päikese tõusunurgale.

Esimeses etapis tuleb välja selgitada paneelide ühendusskeem. Seejärel valida sobivad laadimiskontrollerid. Dimensioneerida kaablid ja kaitseseadmed nii energiahankimise poole peal kui ka tarbijate poolel.

Järgmises etapis uuritakse, milliseid seadmeid ja palju sisend/väljundeid on vaja antud lahenduse ellu viimiseks. Edasi tuleb valida vastavalt sisend/väljundite kogusele sobilik PLC kontroller. Valida sobilikud andurid ning luua programm süsteemi juhtimiseks.



Joonis 3.1. Mobiilne energiajaam, töö alustamise hetke seis

Tingimused:

- Valida programmeeritav juhtseadmestik.
- Kolmefaasiline süsteem.
- Teekonnalüliti raami külge dubleerivalt, mis kinnitaks, et tiivad on kokku pakitud/kinni.
- Tiibade juhtimiseks kasutada kellaaja põhists päikese tõusunurga jälgimist.
- Akuhaldussüsteemi parameetrite monitoorimine.
- Automaatne generaatori lülitamine, sõltuvalt akude laetustasemest ja tarbimisest.
- Süsteemi kaughaldus üle võrgu.

## 3.2 Elektriosa

Elektri-ja automaatikaskeemid koostati kasutades CADMATIC tarkvara. Skeemidel olevad tähistused vastavad standardile EVS-EN IEC 81346-2:2020 [11]. Skeemid asuvad lisas 1. Elektriprojektis on lahendatud seadmete valik, sobilike kaitseseadmete ja kaablite valik.

Esimeseks ülesandeks oli lahendada päikesepaneelide ühendamine, kas jada või paralleelühendusse. Arvestatud on paneelide asetuse, paneelide pinge ja voolu väärtustega, mis on nähtavad tabelis 3.1. Ühes grupis on paneelid, mis vaatavad ühte suunda, et vältida paneelide erinevat tootlikust ning sellega kaasnevat tootlikkuse langust. Kui samasse laadimiskontrollerisse on ühendatud erisuunalised paneelid, siis

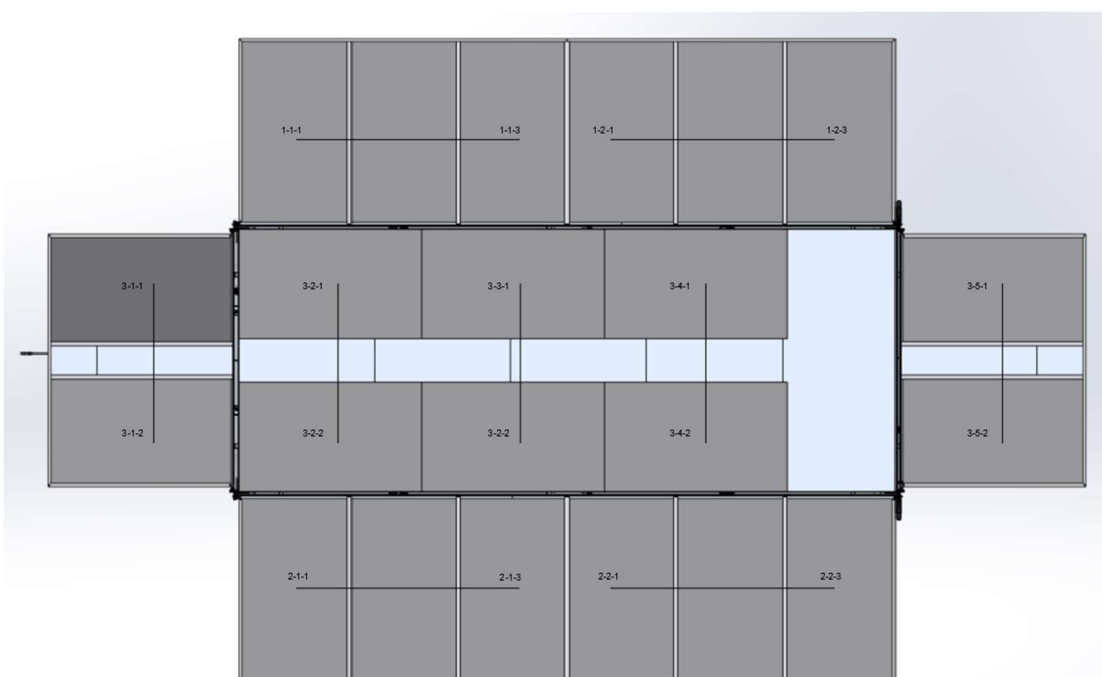
laadimiskontrolleri kogutootlikus langeb, sest mõlemad paneeliahelad hakkavad töötama nõrgema ahela elektriliste parameetrite järgi.

Tabel 3.1. Päikesepaneeli parameetrid [12]

Parameeter	
Mudel	SMF310M-5X12DW
Maksimaalne võimsus $P_{max}$	310 W
Pinge maksimaalse võimsuse juures $V_{mp}$	33,3 V
Vool maksimaalse võimsuse juures $I_{mp}$	9,31 A
Tühispinge $V_{oc}$	40,5 V
Lühisvool $I_{sc}$	9,81 A
Efektiivsus	17,4 %

Paneelid on jagatud nii, et üks pikem külg, kuue päikesepaneeliga on ühendatud esimesse laadimiskontrollerisse. Teine pikem külg, kuue päikesepaneeliga on ühendatud teise laadimiskontrollerisse. Kolmandasse laadimiskontrollerisse on ühendatud kaks lühemat külge, mõlemal küljel kaks päikesepaneeli. Samuti on kolmanda laadimiskontrolleri ahelasse ühendatud katuse paneelid. Jaama katusele on paigaldatud kuus päikese paneeli.

Jooniselt 3.2 on näidatud paneelide ühendus. Esimene number näitab laadimiskontrolleri järjekorra numbrit. Teine number näitab ahela numbrit. Kolmas number näitab paneeli järjekorra numbrit ahelas.



Joonis 3.2. Päikesepaneelide tasapinnaline laotus

Päikesepaneelide ahelad on ühendatud kolme erinevasse harukarpi. Harukarbist lähtuvad kaablid edasi MCB (*Miniature Circuit Breaker*) isolaatorisse ning sealt edasi ühenduslatile. Harukarbis on toodud kokku laadimiskontrollerisse ühenduvad miinus ja pluss kaablid, selleks on harukarpi valitud riviklemmid. MCB isolaator on vajalik, et hoolduse jaoks oleks võimalik katkestada elektriahel laadimiskontrolleri ja päikesepaneelide vahel.

Laadimiskontrollerid, inverter ja akud on ühendatud *Lynx Distributor* [13] lattidele. Kogu energiahankimise süsteemi tooted on valitud Victron Energy kataloogist. Antud toode on valitud seetõttu, et on kompaktne. Seadmes on pluss ja miinus ühendauslatt. Samuti mahutab seade neli DC MEGA sularit. Lisades juurde haldusseadme on võimalik jälgida kaitsmete olukorda kaugelt. Antud seade on lisatav juurde hiljem, seega praeguses projekti staadiumis seda ei käsitleta. Kasutatud on kahte *Lynx Distributorit*, mis omavahel on moodulitena kokku ühendatud.

Süsteemi jälgimiseks on valitud Cerbo GX [14]. Cerbo GX loeb infot laadimiskontrolleritelt, akudelt ja inverterilt. Antud seadme ülesandeks on jälgida akude olekut, võimsustarvet, päikesepaneelide poolt toodetavat võimsust ja generaatori tööd. Kõike seda infot on võimalik jälgida läbi kaughalduse. Kaughaldus on teostatav läbi Victron Energy VRM portaali.

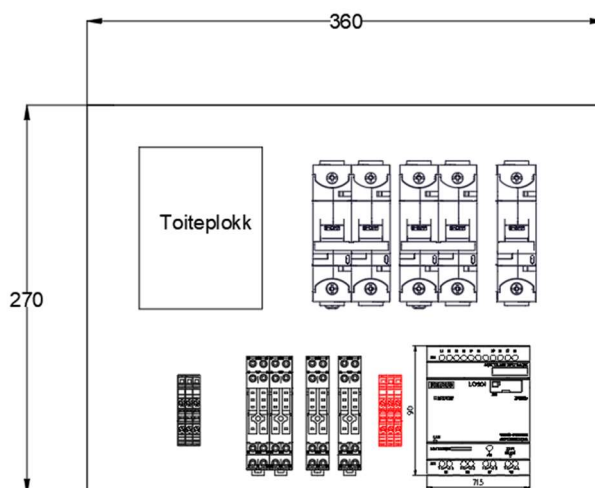
Sekundaarse energiaallikana on projektis arvestatud LPG GE-7000T generaatoriga [15]. Generaatorit on käsitletud antud lõputöö raames ainult sellises mahus, et valitud on sobiv kaabel ja vastav kaitseseade kaablile ning seadistatud automaatne käivitus. Generaatori ühendamiseks süsteemi on planeeritud paigaldada energijaama tiisli poolsesse otsa kolmefaasiline pistikupes. Seega on generaator lihtsasti lahti ühendatav süsteemist.

Päikesepaneelidega kaetud tiibade liigutamiseks on varasema arendustöö etapi käigus on välja valitud 24 V lineaarajamid. Tegemist on Linak LA36 lineaarajamitega [16]. Lineaarajamid on varustatud analoog tagasisidega 0-10 V. Pikema külje peale on paigaldatud kaks lineaarajamit, lühema külje peale üks lineaarajam. Pikema külje kahte lineaarajamit juhitakse ühe signaaliga ehk neid juhitakse samaaegselt. Ajamite juhtimine on lahendatud läbi DPDT releede. DPDT releed ehk kahepooluseline topelt releed. Lisaks on kasutatud ühepooluselist releed. Seda selleks, et lülitada sisse ja välja ajamite toiteahelat. Kui kasutada ainult DPDT releed, siis ajamil on koguaeg toide peal ning releed lülitamisega muudetakse ajami liikumissuunda.



Lineaarajamid töötavad pingel 24 V ja maksimaalne voolu tarbimine on andmelehe [16] järgi 10 A, seega tuli valida vastavad toiteplokid. Valituks osutusid Meanwell 230V/24V SDR-480 toiteplokid [17], mis on projekteeritud jaotuskilpi DIN liistule.

Ajamite kaablid on 5 meetrit pikad, seetõttu ei küündi kaablid peakilbini. Mistõttu on koostatud igale küljele väike jaotuskilp ajamite juhtimiseks. Kilbi mõõtmete teada saamiseks on seadmed kilpi joonestatud AutoCad tarkvaraga. Kilpi on komplekteeritud toiteplokk, kaitselülitid, riviklemmid, releed ja LOGO8 kontrolleri (Joonis 3.3).



Joonis 3.3. Seadmete paigaldusplaan jaotuskilbis, kahe mootori juhtimiseks

Joonisel 3.3 on näidatud seadmete paiknemine. Ülemisele reale on projekteeritud toiteplokk ja kaitselülitid. Alumisele reale on projekteeritud kontrolleri, releed ja riviklemmid. Tegemist on kahe mootori juhtimiseks koostatud jaotuskilbiga.

### 3.2.1 Laadimiskontroller

Laadimiskontrolleri ülesandeks on vältida akude üle laadimist ja samuti reguleerida pinget ja voolu, mis tuleb päikesepaneelist akudesse. Laialdaselt on levinud PWM ja MPPT tüüpi laadimiskontrollerid. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ehk maksimaalse võimsuspunkti jälgimine ja PWM (*Pulse Width Modulation*) ehk pulsilaiusmodulatsioon [18].

Tabel 3.2. MPPT ja PWM võrdlus [18]

MPPT	PWM
Kallim	Odavam
Keerulisem	Lihtsam
Rohkem energiat	Sobib väiksematele süsteemidele
Uuem tehnoloogia	

Laadimiskontrolleri valiku kriteeriumiteks oli päikesepaneelide ühendusest tulenev pinget ja vool. Vastavalt joonisele 3.2 on pikemal küljel koostatud kolm paneeli jadas ja 2

ahelat rööbiti. Lühemal küljel on 2 paneeli jadas ja 5 ahelat rööbiti. Jada ühenduses pinge liidetakse ja vool jääb samaks. Rööpühenduses pinge jääb samaks ja voolud liidetakse. Tabelist 3.2 on näha päikesepaneeli pinge- ja voolu väärtused.

$$U = V_{OC+} V_{OC+} V_{OC}, \quad (3.1)$$

komplekti 1 maksimaalne arvutuslik pinge on 121,5 V.

$$I = I_{sc+} I_{sc}, \quad (3.2)$$

komplekti 1 maksimaalne arvutuslik voolutugevus on 19,62 A.

$$U = V_{OC+} V_{OC+} V_{OC}, \quad (3.1)$$

komplekti 2 maksimaalne arvutuslik pinge on 121,5 V.

$$I = I_{sc+} I_{sc} \quad (3.2)$$

komplekti 2 maksimaalne arvutuslik voolutugevus on 19,62 A.

$$U = V_{OC+} V_{OC}, \quad (3.1)$$

komplekti 3 maksimaalne arvutuslik pinge on 81 V.

$$I = I_{sc+} I_{sc+} I_{sc+} I_{sc+} I_{sc} \quad (3.2)$$

komplekti 3 maksimaalne arvutuslik voolutugevus on 49,05 A.

Seega komplekti 1 ja 2 jaoks tuleks kasutada laadimiskontrollerit, mille sisendpinge on vähemalt 130V ja lühema külje jaoks 90V. Kasutatavad kontrollerid on valitud Victron Energy kataloogist. Valituks osutusid SmartSolar MPPT 150/70 VE.Can laadimiskontrollerid [19]. Soov oli kasutada laadimiskontrollereid, millel on VE.Can võimekus. MPPT 150/70 on samas seeriast kõige madalama pinge ja voolu väärtusega laadimiskontroller.

VE.Can liidese eeliseks on, et kaabeldus on korrektsem. Kontrollerid saab ühendada omavahel jadasse, mistõttu hõivatakse Cerbo GX küljest üks VE.Can port. Teiseks eeliseks on, et ei ole vaja soetada spetsiaalseid Victroni VE.direct kaableid. VE.Can töötab Cat 5e kaablitega, mistõttu on need võimalik ise valmistada vajaliku pikkusega ja otsastatud RJ45 pistikutega. VE.Can ühenduse lõppu ja algusesse tuleb paigaldada terminaatorid.

### 3.2.2 Inverter

Eesti Maaülikooli oli soetatud üks Victron 48/8000/100 inverter [20]. Tegemist on ühefaasilise inverteriga. Kuna arendusprojekt näeb ette kolmefaasilist süsteemi, siis lisati projekti kaks samasugust inverterit juurde. Victron Quattro inverterid on võimalik konfigurida töötamiseks kolme faasiga. Iga inverter genereerib ühe faasi. Antud inverteril on kaks AC sisendid ja kaks AC väljundit.

Lisaks on olemas igal inverteril VE.Bus võimekus. Seetõttu on võimalik inverterid otse Cerbo GX seadmesse ühendada, kasutades selleks andmesidekaablit Cat 5e. Inverterid on ühendatud omavahel jadasse, mistõttu Cerbo GX hõivatakse üks VE.Bus port.

### 3.2.3 Aku

Akude valiku kriteeriumiks on pinge, mahtuvus, mõõdukas. Inverterid ja MPPT kontrollid, mis akudega ühendati töötavad pingel 48 V. Seetõttu peab ka aku pinge olema 48 V. Teiseks kriteeriumiks on mahtuvus, milleks on praeguses projekti staadiumis määratud 15 kWh. Samuti peab aku olema kompaktne, et võtta võimalikult vähe tasapinnalist ruumi energijaamas.

Tingimusi arvesse võttes osutus valituks räkitavad LiFePo4 akud [21]. Ühe aku mahtuvuseks on 4,8 kWh. Valitud on kolm akumoodulit, mis omavahel on ühendatud rööbiti. Seega on kogu akupaki mahtuvuseks 14,4 kWh. Ühe akupaki tühjakslaadimise vool on 100 A, mistõttu on projekteeritud juurde ka ühenduslatt. Ühe akupaki laadimisvool on 50 A.

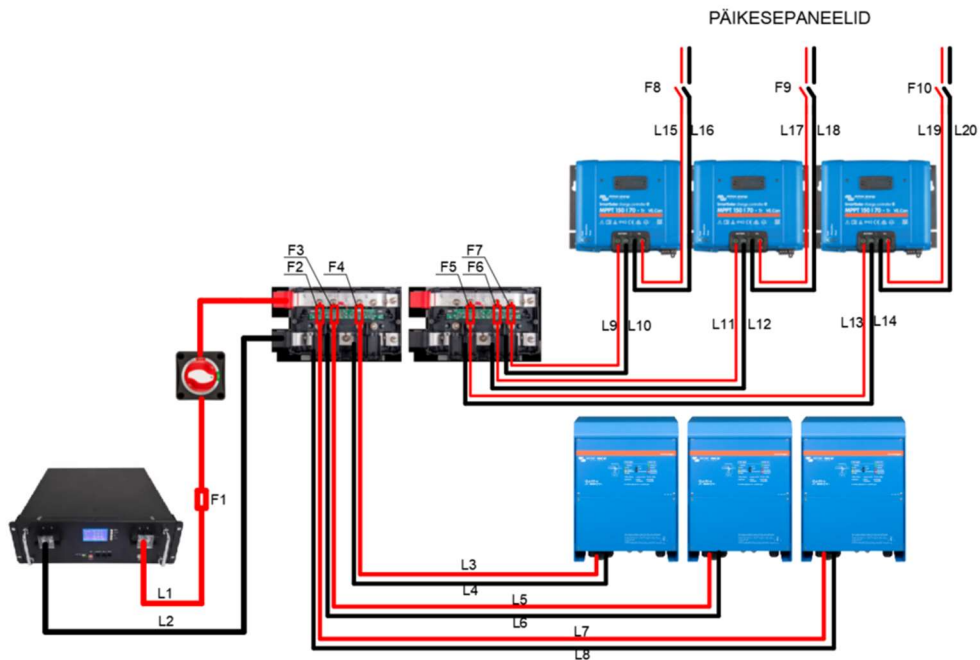
Antud akudele on sisseehitatud BMS (*Battery Management System*), mis on akuhaldussüsteem. Kõik akud on omavahel ühendatud RS485 standardiga, kasutades Cat 5e kaablit. Igal akul on kaks RS485 terminali ja üks CAN-Bus terminal. Viimase ja esimese akupaki vabasse RS485 terminali on paigaldatud terminaator, seda seetõttu, et kõik RS485 kaablid vajavad terminaatoreid.

### 3.2.4 Kaablite valik

Seadmete vaheliseks ühenduseks on valitud keevituskaablid. Kevituskaablite eelisteks on, et need on hästi painduvad. Seetõttu on neid lihtne paigaldada kitsastes oludes. Lisaks taluvad keevituskaablid suuremat temperatuuri ja on kasutatavad süsteemides, mille pinge väärtus on kuni 100 V. Kaablid on valitud Nexans kataloogist [22]. MPPT ja *Lynx Distribution* lati vahelised juhtmed on valitud Elpar tootesariast [23][24].

Energijaama sees võib suvisel ajal temperatuur küündida väga kõrgele. Seetõttu tuleb kaablite valikul arvestada ka temperatuuriga, et vältida ülekuumenemist. Mida kõrgem

on keskkonna temperatuur, kus kaabel on, seda vähem voolu on võimalik antud kaablist läbi lasta. Seetõttu on valitud kaablid varuga. Kõik kaablid on ette nähtud paigaldada pinnapealselt. Seadmete vaheline ühendusloogika on nähtav joonisel 3.4.



Joonis 3.4. Seadmete ühendusviis

L1 ja L2 kaablid on planeeritud *Lynx Distributori* ja aku vahele. Akude andmelehel [21] selgub, et akude maksimaalne laadimisvool on 50 A ja maksimaalne tühjenemisvool on 100 A. Kokku on rööpühenduses kolm akupakki, mis tähendab, et maksimaalne laadimisvool on 150 A ja maksimaalne tühjenemisvool on 300 A.

L3-L8 kaablid on planeeritud inverteri ja *Lynx Distributori* vahele. Kasutades all olevat valemit arvutati akude ja inverteri vaheline voolutugevuse.

$$I = P/U \quad (3.3)$$

kus,

$P$  - inverteri võimsus,

$U$  - akupanga pinge.

$$I_{L3-L8} = (6400 \text{ W}) / (48 \text{ V}) = 133 \text{ A}$$

Laadimiskontrolleritesse on jagatud päikesepaneelid nii, et esimese laadimiskontrollerisse on ühendatud kuus päikesepaneeli, koguvõimsusega 1860 W.

Teise laadimiskontrollerisse on ühendatud sama arv päikesepaneele. Kolmandasse laadimiskontrollerisse on ühendatud kaheksa päikesepaneeli, koguvõimsusega 2480 W.

Akupaki pinge on 48 V, seega koormusvoolud laadimiskontrolleri ja akupaki vahel on vastavalt:

$$I_{L9-L10} = (1860 \text{ W}) / (48 \text{ V}) = 39 \text{ A}$$

$$I_{L11-L12} = (1860 \text{ W}) / (48 \text{ V}) = 39 \text{ A}$$

$$I_{L13-L} = (2480 \text{ W}) / (48 \text{ V}) = 52 \text{ A}$$

Tabel 3.3. Kaablite valik [22][23][24]

<b>Kaabel</b>	<b>Mark</b>	<b>Koormusvool [A]</b>	<b>Lubatud koormusvool [A]</b>
L1 ja L2	H01N2-D 1x120	300	480
L3 ja L4	H01N2-D 1x50	133	273
L5 ja L6	H01N2-D 1x50	133	273
L7 ja L8	H01N2-D 1x50	133	273
L9 ja L10	H01N2-D 1x16	39	130
L11 ja L12	H01N2-D 1x16	39	130
L13 ja L14	H01N2-D 1x16	52	130
L15 ja L16	H07V-K (MKEM) 10	20	57
L17 ja L18	H07V-K (MKEM) 10	20	57
L19 ja L20	H07V-K (MKEM) 16	49	76

Tabelist 3.3 kirjeldatakse vastavalt arvutatud koormusvooludele 48 V DC süsteemi kaablite valik.

Järgmiseks on valitud inverterite AC väljundis olevatele tarbijatele sobilikud kaablid. Tarbijateks on toiteplokkid, millega toidetakse lineaarajameid ja kontrollereid. Kolmefaasiliseks tarbijaks on elektriautolaadija Victron Energy *EV Charger* [25], mille maksimaalne laadimisvool on 32 A. Ülejäänud tarbijateks on pistikupesad. Pistikupesad, mis on projekteeritud energiajaama on üks kolmefaasiline 16 A, kolm ühefaasilist 16 A ja üks ühefaasiline 32 A. Need on ette nähtud elektritoitel seadmete käitamiseks või laadimiseks.

Tabel 3.4. Tarbijate koormusvoolud

<b>Tarbija</b>	<b>Liik</b>	<b>Faaside arv</b>	<b>Maksimaalne koormusvool [A]</b>
Tarbija 1	Toiteplokk	1	5,3
Tarbija 2	Toiteplokk	1	5,3
Tarbija 3	Toiteplokk	1	5,3
Tarbija 4	Toiteplokk	1	5,3

Tabel 3.4. Järg

Tarbija	Liik	Faaside arv	Maksimaalne koormusvool [A]
Tarbija 5	Toiteplokk	1	1,6
Tarbija 6	Toiteplokk	1	1,6
Tarbija 7	Autolaadija	3	32
Tarbija 8	Pistikupesa	1	32
Tarbija 9	Pistikupesa	3	32
Tarbija 10	Pistikupesa	1	16
Tarbija 11	Pistikupesa	1	16
Tarbija 12	Pistikupesa	1	16

Tabelis 3.4 on näidatud tarbijate liik, faaside arvu ja maksimaalset koormusvoolu. Tarbijad 1-4 on toiteplokkid lineaarajamite toitmiseks. Tarbija 5 on peajaotuskilbis oleva kontrolleri toitmiseks. Tarbija 6 on planeeritud peajaotuskilpi ja planeeritud toitma Cerbo-GX seadet.

Järgmiseks on arvatud inverterite poolt väljundvool, et valida sobilikud magistraalkaablid. Projektis on kasutatud kolme ühefaasilist inverterit, mistõttu on toodud igast inverterist peakaitsmeni kolm soont (faas, neutraal ja maandus). Inverteri väljundvool on maksimaalselt:

$$I = S/U \quad (3.4)$$

kus,

$S$  on inverteri näivvõimsus,

$U$  on nimipinge.

$$I_{Inverter} = (8000 \text{ kVA}) / (230 \text{ V}) = 35 \text{ A}$$

Antud tulemusele liidetakse juurde generaatori poolt välja antav voolutugevus. Generaatori väljundvõimsus on 7500 W ning võimsustegur on 1 [15]. Generaatori koormusvool on arvatud valemiga:

$$I = (P / \cos\varphi) / (\sqrt{3} \cdot U) \quad (3.5)$$

kus,

$P$  on generaatori võimsus,

$\cos\varphi$  on generaatori võimsustegur,

$U$  on nimipinge.

$$I_{\text{Generaator}} = (7500/1)/(\sqrt{3} \cdot 400) = 10,8 \text{ A}$$

Seega inverteri maksimaalne väljundvool on:

$$35 \text{ A} + 10,8 \text{ A} = 45,8 \text{ A}$$

Kaabel, mis inverteri väljundisse valitakse peab läbi laskma rohkem kui 45,8 A. Kaabliteks on valitud H07RN-F 3G25, mis laseb läbi maksimaalselt 136 A [26].

Vahelduvvoolu tarbijatele on valitud kaablid Nexans [26] kataloogist. Tegemist on kummikaablitega, mistõttu paigaldamine kitsastes tingimustes on lihtsam, kuna kaablid painduvad väga hästi.

Tabel 3.5. Kaablite valik vahelduvvoolu tarbijatele [26]

Tarbija	Tüüp	Kaabel	Faaside arv	Maksimaalne koormusvool [A]	Lubatud koormusvool [A]
Tarbija 1	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	5,3	23
Tarbija 2	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	5,3	23
Tarbija 3	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	5,3	23
Tarbija 4	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	5,3	23
Tarbija 5	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	1,6	23
Tarbija 6	Toiteplokk	H07RN-F 3G1,5	1	1,6	23
Tarbija 7	Autolaadija	H07RN-F 5G4	3	32	43
Tarbija 8	Pistikupesa	H07RN-F 3G4	1	32	43
Tarbija 9	Pistikupesa	H07RN-F 5G4	3	32	43
Tarbija 10	Pistikupesa	H07RN-F 3G2,5	1	16	36
Tarbija 11	Pistikupesa	H07RN-F 3G2,5	1	16	36
Tarbija 12	Pistikupesa	H07RN-F 3G2,5	1	16	36

Tabelis 3.5 on näidatud valitud kaablid vahelduvvoolu tarbijatele.

Inverteritel on kaks AC sisendit. Esimesse sisendisse ühendatakse generaator. Teise sisendisse nähakse ette võrguühenduse valmidus. Nii generaatori ühendus kui ka võrgu ühendus teostatakse pistikühendustega.

Generaatori koormusvool on 10,8 A. Seega on valitud kaabliks H07RN-F 5G2,5, mille lubatud maksimaalne koormusvool on 31 A.

Võrguühendusel akulaadimine toimub läbi kolmefaasilise ühenduspesa, mille maksimaalne koormusvoolu taluvuseks on 16 A. Seega on valitud kaabliks H07RN-F 5G2,5, mille lubatud maksimaalne koormusvool on 31 A.

### 3.2.5 Kaitseseadmete valik

Kaitseseadmete ülesandeks on kaablite kaitsmine ülekuumenemise ja sellest tuleneva tulekahju tekkimise eest. Iga laadimiskontrolleri ja paneeliahelate vahele on planeeritud DC MCB lüliti. MCB lülitid on valitud vastavalt koormusvoolu järgi, mis on arvatud peatükis 3.2.1. Seega esimese komplekti ahelasse on planeeritud 2P B25 [27], teise komplekti ahelasse 2P B25 [27] ja kolmandasse päikesepaneeli ahelasse 2P B63 [28], kaitseülitid on koostatud MPPT lähedale harukarpi.

Samuti on ette nähtud akupaki ette 48V jõulüliti [29]. Seda seetõttu, et hoolduste jaoks oleks võimalik toite ahel katkestada. Iga ahel on kaitstud kaitseautomaadi või sulavkaitsmega. Laadimiskontrollerite ja inverterite sulavkaitsmed on koostatud *Lynx Distributori*. Akude sulavkaitse on projekteeritud eraldi alusele ning sealt edasi viidud kaabel *Lynx Distributori* latile.

Kaitseseadmed kaablitele on valitud vastavalt valemile:

tarbija koormusvool  $A <$  kaitsme nimivool  $A <$  kaabli maksimaalne koormusvool  $A$ .

Liini L1 maksimaalne koormusvool on 300 A. Saadud tulemus on korrutatud korrigeerimisega 1,25,

$$300 \text{ A} \cdot 1,25 = 375 \text{ A}.$$

Seega sobilik sulavkaitse on 400 A.

Järgmiseks on arvatud sobilik sulavkaitse inverteri ja akupanga vahelisele kaablile L3, L5 ja L7. Tabelist 3.3 on näidatud liinide koormusvool, milleks on 133 A.

Saadud tulemus on korrutatud korrigeerimisega 1,25,

$$133 \text{ A} \cdot 1,25 = 166,25 \text{ A}.$$

Seega sobilik sulavkaitse on 200 A.

Järgmiseks on arvatud sulavkaitse laadimiskontrolleri ja akupanga vahelisele kaablile L9, L11 ja L13. Tabelis 3.3 on näidatud liinide koormusvool, milleks on 39 A, 39 A ja 52 A.

Saadud tulemus on korrutatud korrigeerimisega 1,25,

$$39 \text{ A} \cdot 1,25 = 49 \text{ A},$$

$$39 \text{ A} \cdot 1,25 = 49 \text{ A},$$



52 A · 1,25 = 65 A.

Seega sobilikud sulavkaitsmed on 60 A, 60A ja 80 A. Kõik sulavakaitsmed on MEGA seeriast [30]. Kõik MEGA sulavkaitsmed koostatakse *Lynx Distributori*.

Tabel 3.6. Kaitseseadmete valik [27][28][30]

<b>Kaitseseadme tähis</b>	<b>Kaitseseade</b>
F1	MEGA 400
F2	MEGA 200
F3	MEGA 200
F4	MEGA 200
F5	MEGA 60
F6	MEGA 60
F7	MEGA 80
F8	2P B25
F9	2P B25
F10	2P B63

Järgmiseks on arvuatud inverteri väljundis olevate vahelduvvoolu tarbijate kaitseseadmed. Inverterite poolt tekitavat lühisvoolu ei ole seadme manuaalis kirjas. Mistõttu pole teada süsteemi lühisvõimsus, et saaks arvutada iga ahela lühisvoolu. Lühisvoolu järgi valitakse kaitseseadmete karakteristika Kuna lühisvoolu pole teada, siis on valitud B karakteristikuga kaitselülitid. Seda seetõttu, et C karakteristikuga kaitselülitid ei pruugi rakenduda lühisvoolu korral. Kaitselülitid on valitud Noark kataloogist.

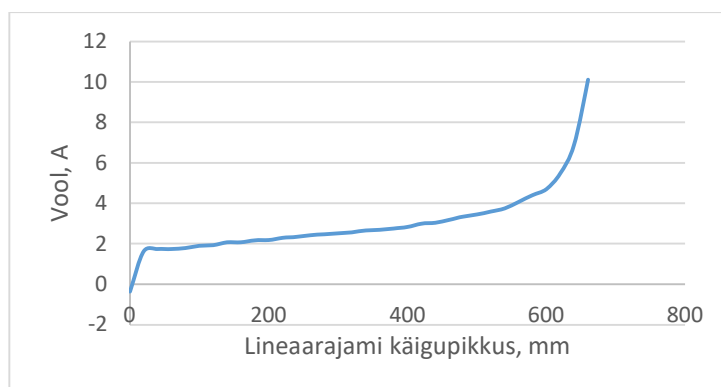
Tabel 3.7. Kaitseseadmete valik vahelduvvoolu tarbijatele

<b>Tarbija</b>	<b>Maksimaalne koormusvool [A]</b>	<b>Lubatud Koormusvool [A]</b>	<b>Kaitseseade</b>
Tarbija 1	5,3	23	1P B6 [31]
Tarbija 2	5,3	23	1P B6 [31]
Tarbija 3	5,3	23	1P B6 [31]
Tarbija 4	5,3	23	1P B6 [31]
Tarbija 5	1,6	23	1P B4 [32]
Tarbija 6	1,6	23	1P B4 [32]
Tarbija 7	32	43	3P B32 [33]
Tarbija 8	32	43	1P B32 [34]
Tarbija 9	32	43	3P B32 [33]
Tarbija 10	16	36	1P B16 [35]
Tarbija 11	16	36	1P B16 [35]
Tarbija 12	16	36	1P B16 [35]

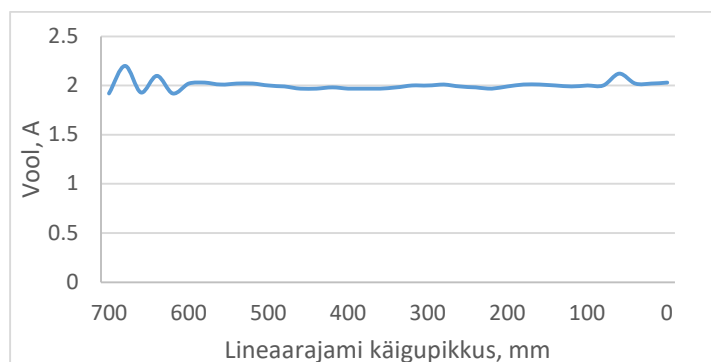
Peakaitse peajaotuskilpi on valitud vastavalt inverteri ja generaator väljundvoolule. Maksimaalne tarbitav vool 45,8 A. Seetõttu valiti peakaitse 3P B63 A [36]. Antud kaitselüliti ette on nähtud rikkevoolulüliti (RCCB) 4P 63A [37].

Tarbijad 1-4 asuvad jaama külgedel olevates jaotuskilpides. Sinna on koondatud lineaarajamite kaablid, teekonnalüliti ja kommunikatsiooniks vajalik arvutivõrgukaabel. Jaotuskilbis on tarbijaks toiteplokk, millega toidetakse kontrolleri ja lineaarajamit. Igasse jaotuskilpi on ette nähtud peakaitselüliti ning eraldi kaitselülitid lineaarajami ja kontrolleri ahelale.

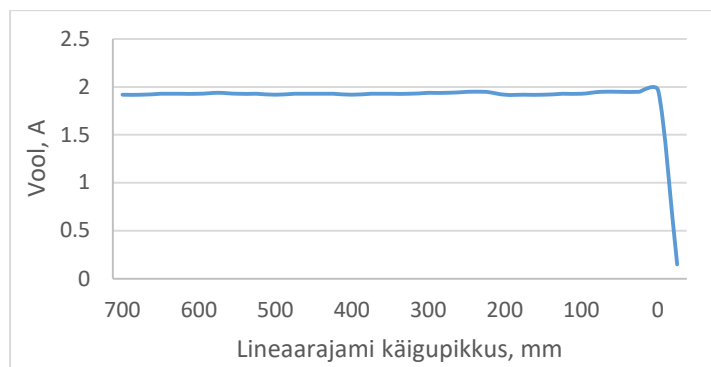
Mootori tühijooksuvool ja koormusvool on mõõdetud kasutades ampertange PeakTech P1670. Keskkonna temperatuur oli mõõtmise hetkel 21°C. Nende tulemuste järgi on valitud kaitselülitid lineaarajamite ahelasse. Jooniselt 3.5 on näidatud, et koormusvool tõuseb, mida pikem on lineaarajami käigupikkus. Saavutades maksimaalse koormusvoolu 10 A. Samas sisse liikudes tuleb vaba jooksuga (Joonis 3.6) ehk voolutarbimine on tühijooksuvooluga samas suurusjärgus (Joonised 3.7 ja 3.8).



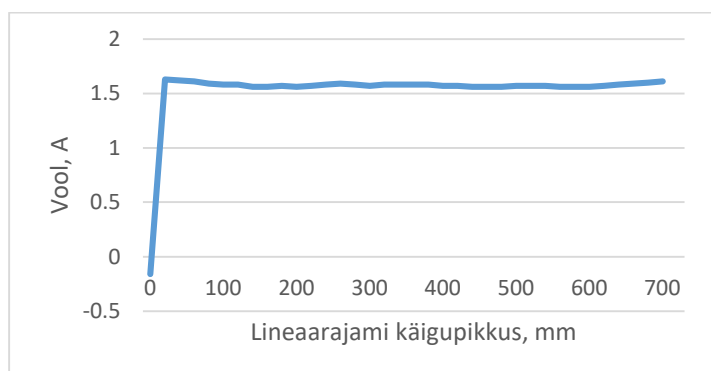
Joonis 3.5. Koormusvool välja liikudes



Joonis 3.6. Koormusvool sisse liikudes



Joonis 3.7. Tühijooksu vool sisse liikudes



Joonis 3.8. Tühijooksu vool välja liikudes

Pikematel külgedel on kaks lineaarajamit, ning kui ühega midagi juhtub, et kaitse rakendub. Peab ka teine välja lülituma. Seetõttu on pikemate külgede jaotuskilpidesse ette nähtud kahepooluseline peakaitse B20 [38]. Ning selle järgi kahepooluseline kaitselüliti B16 [39] lineaarajamitele. Lähtudes mõõtetulemustest, kus lineaarajamite koormusvool ei ületanud 10 A. Kahepoolusega B16 kaitselülitisse on ühendatud lineaarajamid nii, et ühe lineaarajami pluss kaabel ühendub ühte poolusesse ja teise lineaarajami pluss kaabel teise poolusesse. Seda seetõttu, et kui ühe lineaarajamiga peaks midagi juhtuma ja kaitse rakendub, siis katkestatakse ka teise lineaarajami toide.

Lühema külje juhtimiseks on kasutatud ühte lineaarajamit, mistõttu kaitsmed on valitud kõik ühepooluselised. Peakaitsemeks on valitud 1P B20 [40]. Ning lineaarse ajami elektriahela kaitselülitiks on valitud 1P B16 [41]. Kontrolleri ja toiteploki vahelise ahela kaitselülitiks on valitud vastvalt kontrolleri manuaalis välja toodud suurus [41], milleks on 2A ehk kaitselülitiks on valitud 1P B2 [43].

Peajaotuskilpi on koostatud veel kaitselülitid inverterite sisenditele Generaatori väljundvooluks on 10,4 A. Saadud tulemus on korrutatud korrigeerimisega 1,25,

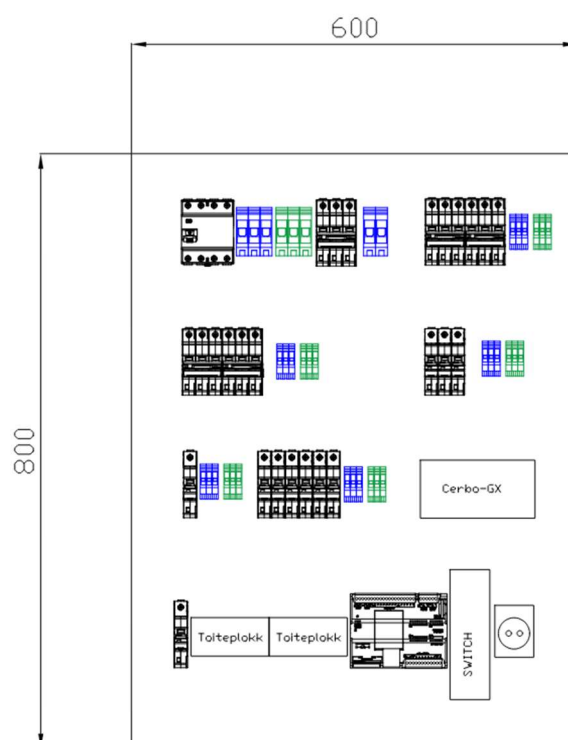
$$10,4 \text{ A} \cdot 1,25 = 13 \text{ A}$$

Inverteri ja generaatori vahele on kaitseseadmeks valitud 3P B16 [44].

Generaatori ühendamiseks on ette nähtud pistikühendus haagise tiisli poolsesse otsa, kolmefaasiline 16 A pistikupesaga.

Võrgust laadimiseks paigaldatakse haagise etteotsa kolmefaasiline 16 A pistikupesaga, mistõttu kilpi valitakse kaitseseadmeks 3P B16 [44].

Kilbi suuruse teada saamiseks on koostatud kilbi paigaldusplaan AutoCad tarkvaraga (Joonis 3.9).



Joonis 3.9. Peajaotuskilbi seadmete paigutusplaan

Kilbi ülemisele reale on planeeritud rikkevoolulüliti ja peakaitseüliti. Esimese rea parempoolsesse osasse on planeeritud inverteri sisendite kaitselülid. Teisele reale on planeeritud kolmefaasiliste tarbijate kaitselülid (tarbijad 7 ja 9) ning see järel ühefaasiliste tarbijate kaitselülid (tarbijad 10-12). Kolmandale reale on planeeritud tarbija 7 kaitselüliti ja seejärel toiteplokkide kaitselülid (tarbijad 1-6). Viimasele reale on planeeritud toiteplokkid, kontrolleri ja *switch*.

### 3.2.6 Potentsiaaliühtlustus

Tegemist on mobiilse energiajaamaga, mistõttu on maanduspaigaldus keeruline. Igale pinnasele ei ole võimalik maandusvarrast paigaldada. Kuid potentsiaaliühtlustus on vajalik, et kaitsta inimest võimalike elektriööride eest.

Energiajaama siseselt on lahendatud potentsiaaliühtlustus. Potentsiaaliühtlustus seisneb selles, et paigaldise normaaltalitus pingeta juhid ühendatakse potentsiaaliühtlustusjuhtide abil kokku [45]. DC süsteemil on ühendatud potentsiaalijuhid *Lynx Distributor* miinus latile. Iga inverteri väljundist on toodud potentsiaaliühtlustusjuht peajaotuskilpi ning otsastatud riviklemmil. Peajaotuskilpi koonduvad kõik muude tarbijate maanduskaablid. Inverteril on kõik maandus väljundid omavahel kokku ühendatud, mistõttu saab võimalusel paigaldusmaanduse teha *Lynx Distributioni* latilt maapinda.

### 3.3 Automaatika

Automaatikaprojekti osas on antud lahendus mobiilse energiajaama päikese jälgimissüsteemile. Päikese jälgimine toimub kasutades astronoomilist kella. Automaatikassüsteem on koostatud Siemensi automaatika komponentidele. Kasutatud on Siemens S7 1215C DC/DC/DC [46] ja LOGO8 [42] loogikakontrollerit. Siemens S7 loogikakontroller on keskne süsteem. Siemens S7 on teostatud vajalikud päikesejaama arvutused, ning vastavalt tulemustele saadetakse info edasi LOGO8 kontrolleritele.

Siemens S7 kontrolleri kasutamine on vajalik seetõttu, et LOGO 8 kontrollerid ei ole võimelised tegema trigonomeetrilisi arvutusi. Päikese jälgimise süsteemi juures aga on nurkade arvutamine vajalik.

LOGO8 kontrollerid ühendatakse Siemens S7 kontrolleri külge klientidena läbi Modbus TCP (*Transmission Control Protocol*). Antud lahendus valitakse seetõttu, et Siemens S7 laiendusmoodulid on hinna poolest kallimad kui LOGO8 kontrollerid ning lineaarajamite kaablid ei küündi peakilbini. Seega on planeeritud iga külje jaotuskilpi LOGO8 kontroller. Peajaotuskilpi on ette nähtud *switch* [47], kuhu kasutades Cat 5e [48] kaablit on ühendatud neli LOGO8 kontrollerit. Samuti on sinna ühendatud Siemens S7 kontroller.

Tabelis 3.8 näidatakse süsteemis kasutatavad sisendid ja väljundid. Analooz väljundeid ei kasutata.

Tabel 3.8. Süsteemi sisend-väljundid

Nimetus	DI	DO	AI	AO	Kontroller
Teekonnalüliti 1	1				LOGO 1 IN3
Teekonnalüliti 2	1				LOGO 1 IN5
Teekonnalüliti 3	1				LOGO 2 IN3
Teekonnalüliti 4	1				LOGO 2 IN5
Teekonnalüliti 5	1				LOGO 3 IN3
Teekonnalüliti 6	1				LOGO 4 IN3
Ajam 1-2 ava		1			LOGO 1 Q2
Ajam 1-2 sulge		1			LOGO 1 Q1
Ajam 3-4 ava		1			LOGO 2 Q2
Ajam 3-4 sulge		1			LOGO 2 Q1
Ajam 5 ava		1			LOGO 3 Q2
Ajam 5 sulge		1			LOGO 3 Q1
Ajam 6 ava		1			LOGO 4 Q2

Tabel 3.8.Järg

Nimetus	DI	DO	AI	AO	Kontroller
Ajam 6 sulge		1			LOGO 4 Q1
M1 Tagasiside 1			1		LOGO 1 AI1
M3 Tagasiside 2			1		LOGO 2 AI1
M5 Tagasiside 3			1		LOGO 3 AI1
M6 Tagasiside 4			1		LOGO 4 AI1
Avariistopp 1	1				Siemens S7 I0.0
Avariistopp 2	1				Siemens S7 I0.1
<b>KOKKU</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	

Ajamite juhtimiseks on kasutatud releesid. Ajam 1-2 ava tähendab, et lülitatakse lineaarajami toide sisse. Ajam 1-2 sulge tähendab, et lineaarajami poolused vahetatakse.

Projektis kasutataval ajamil on olemas lõpulülitid, kuid kuna nende lülitite lülituseks peab lineaarajami käigupikkus olema 0 või maksimum. Seega ei saa nende lülituse peale kindel olla. Seetõttu on kasutatud täiendavaid teekonnalüliteid raamil [49]. Pikemale küljele on planeeritud kaks teekonnalülitit ning lühematele külgedele üks teekonnalüliti. Teekonnalülitid on ühendatud LOGO8 kontrolleri sisendisse kasutades kontrollkaablit 2x0,5 [50].

Ohutuse tagamiseks on planeeritud avariistopp nupud [51], mis on paigaldatud üks energijaama ette ja teine taha. Avariistopp nupud on ühendatud Siemens S7 digitaal sisendisse, kasutades kontrollkaablit 2x0,5. Avariistopp nuppu lülitades seiskuvad kõik lineaarajamid. Nuppu uuesti lülitades käivitatakse uuesti lineaarajamid.

### 3.4 Päikese jälgimine

Päikese valgustugevuse jälgimine toimub mobiilse päikesejaama ühel teljel. Päikesepaneelidega varustatud külgi on võimalik liigutada ümber telje kuni 135 kraadi. Oluline on programmi anda sisend energijaama täpsest asukohast, ning asukoha järgi on arvutatakse päikese tõusnurk energijaama maksimaalse efektiivsuse tagamiseks. Arvestatud on, et energijaam paigaldatakse vastavalt ilmakaartele. Pikem külgsuunaga läände. Seda seetõttu, et päike tõuseb läänest ning loojub itta.

Esmalt arvutatakse päikese deklinatsiooninurk. Deklinatsiooninurk tuleneb maa pöörlemisest ümber oma telje. See muutub -23,45 kraadist kuni 23,45 kraadini, sõltudes konkreetsest päevast. Allolev valem arvutab vastava nurga iga päeva jaoks [52].

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos [(360/365) \cdot (d + 10)] \quad (3.6)$$

kus,

$d$  on päeva järjekorra number (1. jaanuar on järjekorras number 1).

+ 10 on lisatud päeva järjekorra numbrile juurde seetõttu, et talvine pööripäev on enne aasta algust.

Järgmiseks on arvatud päikese tunninurk. Nurk muutub -180 kraadist kuni 180 kraadini ning on 0 kraadi keskpäeval (kell 12) [53].

$$\gamma = 15 \cdot (T - 12) \quad (3.7)$$

kus,

$T$  on tund, h.

15 kraadiga on korrutatud seetõttu, et maa pöörleb tunnis 15 kraadi.  $360/24 = 15$ .

Olemas iga tunni kohta päikese tunninurk ja deklinatsiooninurk arvutatakse järgmiseks päikese tõusunurga iga tunni kohta [54].

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\delta) \cdot \sin(\theta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\gamma)] \quad (3.8)$$

kus,

$\delta$  on deklinatsiooninurk, °;

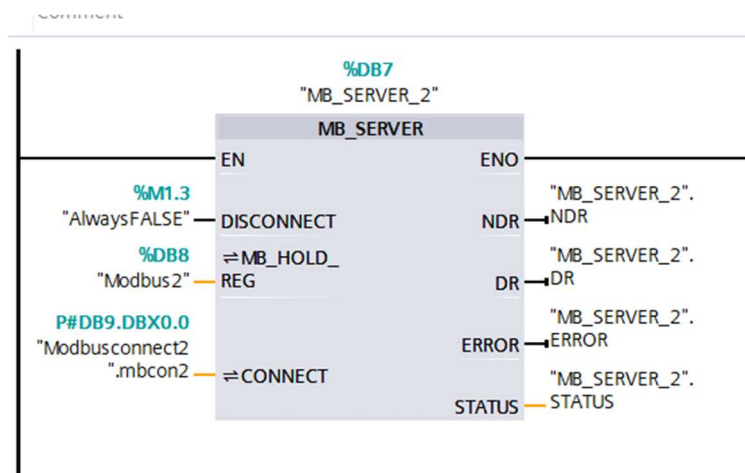
$\theta$  on laiuskraad, °;

$\gamma$  on tunninurk, °.

### 3.5 Programmi koostamine

Programm on koostatud Siemens S7 kontrolleri TIA v19 tarkvara kasutades ning programmeerimisel on kasutatud redeliloogikat. Siemens LOGO 8 kontrolleri on koostatud programm kasutades LOGO soft comfort V8.4 tarkvara ning programm koostati funktsiooni plokkidena.

Esimesena lahendati kontrolleri vaheline kommunikatsioon. Kokku on neli LOGO8 kontrolleri, mis kõik peavad suhtlema Siemens S7 kontrolleri. Iga LOGO8 kontrolleri on määratud IP aadress, ühenduse ID ning pordi number, mis üksteisest peavad erinema. Ühenduse loomiseks on kasutatud funktsiooniblokki MB\_SERVER (Joonis 3.10).



Joonis 3.10. MB\_SERVER funktsiooniplokk

Andmete saatmiseks on loodud massiiv (Joonis 3.11), mis on ühendatud MB\_SERVER blokki külge. Saadetavad andmed on INT tüüpi ehk täisarvud, Samuti on määratud LOGO8 kontrolleri programmis andme aadressid, mis saadetakse ja vastu võetakse (Joonis 3.12).

ModbusData1				
	Name	Data type	Offset	Start value
1	Static			
2	Send	Array[0..10] ...	0.0	
3	Send[0]	Int	0.0	0
4	Send[1]	Int	2.0	0
5	Send[2]	Int	4.0	0
6	Send[3]	Int	6.0	0
7	Send[4]	Int	8.0	0
8	Send[5]	Int	10.0	0
9	Send[6]	Int	12.0	0
10	Send[7]	Int	14.0	0
11	Send[8]	Int	16.0	0
12	Send[9]	Int	18.0	0
13	Send[10]	Int	20.0	0
14	Recive	Array[11..20] of Int	22.0	
15	Recive[11]	Int	22.0	0
16	Recive[12]	Int	24.0	0
17	Recive[13]	Int	26.0	0
18	Recive[14]	Int	28.0	0
19	Recive[15]	Int	30.0	0
20	Recive[16]	Int	32.0	0
21	Recive[17]	Int	34.0	0
22	Recive[18]	Int	36.0	0
23	Recive[19]	Int	38.0	0
24	Recive[20]	Int	40.0	0

Joonis 3.11. Andmemassiiv LOGO8 ja Siemens S7 vaheliseks kommunikatsiooniks

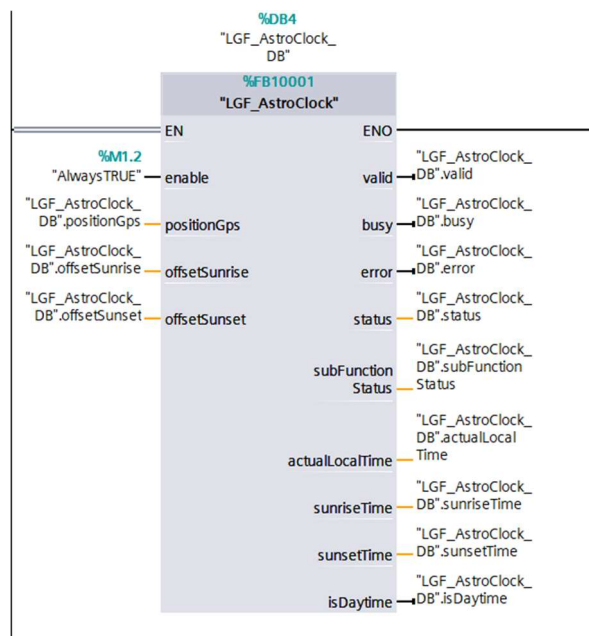
LOGO8 kontrolleri saadetakse ja võetakse vastu VW (*variable word memory*) andmetüüp (Joonis 3.12). Kui LOGO8 programmis on määratud väljundi aadressiks VW0, siis Siemens S7 vastab sellele aadress Send[0] (Joonis 3.11).



Remote Properties (Server)						
Port:		502				
IP Address:		192.168. 0. 3				
Data transfer						
ID	Start Address (Local)	Length	Direction	Start Address (Remote)	Length	Unit ID
1	VW ▾ 0	11 words	<--	HR ▾ 1	11 words	1
2	VW ▾ 22	10 words	-->	HR ▾ 11	10 words	1

Joonis 3.12. LOGO8 poolt saadetavad ja vastuvõetavad andmed

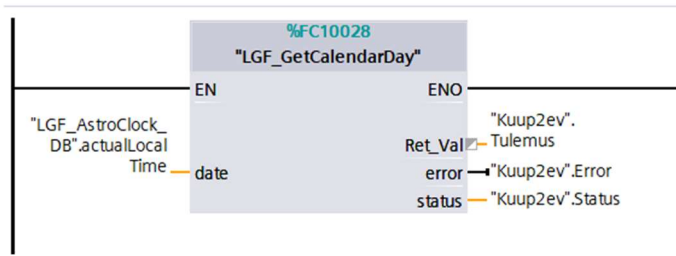
Järgmisena on lahendatud päikese tõusunurga arvutus redelloogikaga. Arvutuse loogika on sama, mis on peatükis 3.4 käsitletud. Esmalt on alla laetud Siemensi tugilehelt vastav raamatukogu, kus sees on astronoomilise kella plokk (Joonis 3.13). Selleks raamatukoguks on LGF (*Library of General Functions*) [55].



Joonis 3.13. Päikesetõusu ja loojumise arvutamiseks kasutatud funktsiooniblokk

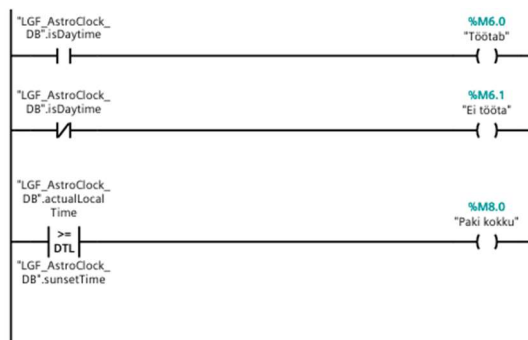
Plokki on sisestatud vastava asukoha koordinaadid, kus astronoomilist kella jälgitakse. Antud projektis on sisestatud programmi Tartu pikkus- ja laiuskraadid, milleks on 58.378025, 26.728493 [56]. Seda seetõttu, et testimine ja energiajaama ehitus toimub Tartus.

Järgmiseks on samast raamatukogust [55] kasutatud funktsiooni, millega arvutatakse välja mitmes päev aastas tänane päev on (Joonis 3.14).



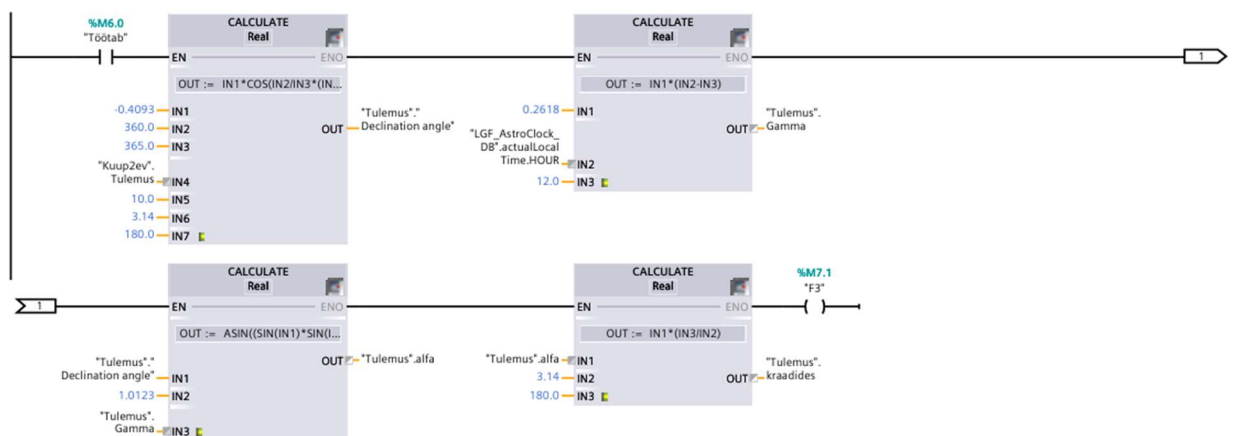
Joonis 3.14. Funktsiooniblokk arvutamaks mitmes päev aastas käesolev päev on

Edasi on määratud programmi töötamise aeg. Programm töötab päikesetõusust päikeseloojanguni ehk päevasel ajal. Päikesetõusul antakse käsk jaama tiivad kokku pakkida (Joonis 3.15).



Joonis 3.15. Programmi töötamise piiritlus

Päevasel ajal kui programm töötab arvutatakse iga tsükliga välja päikese tõusunurk kasutades *calculate* funktsiooni plokkide. Kuna süsteem arvutab nurkasid radiaanides, siis on teisendatud eelmises peatükis (peatükk 3.4) nähtud valemitega olevad kraadid radiaanidesse (Joonis 3.16).

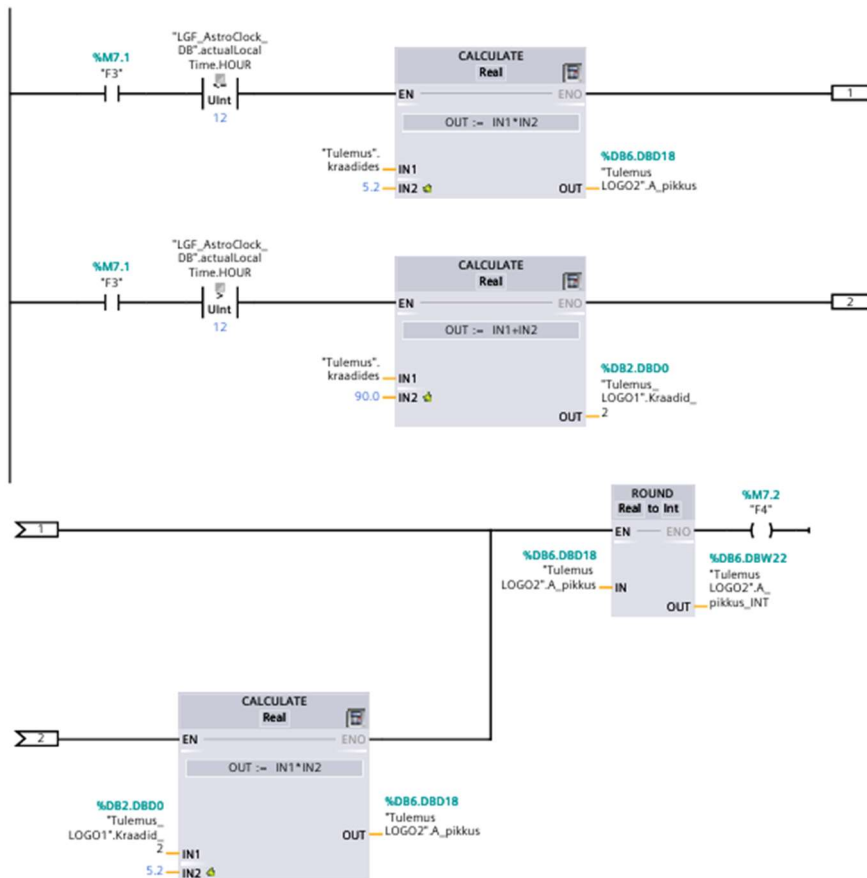


Joonis 3.16. Päikese tõusunurga arvutamine

Päike tõuseb läänest ja loojub itta, mistõttu on arvestatud, et energiajaam paigaldatakse suunaga pikem külg läände. Seega päeva esimeses pooles suunatakse

päikesepaneelidega kaetud pikemad tiivad lääne suunda, muutes iga tund nurka. Päeva teises pooles suunatakse päikesepaneelidega kaetud tiivad ida suunas.

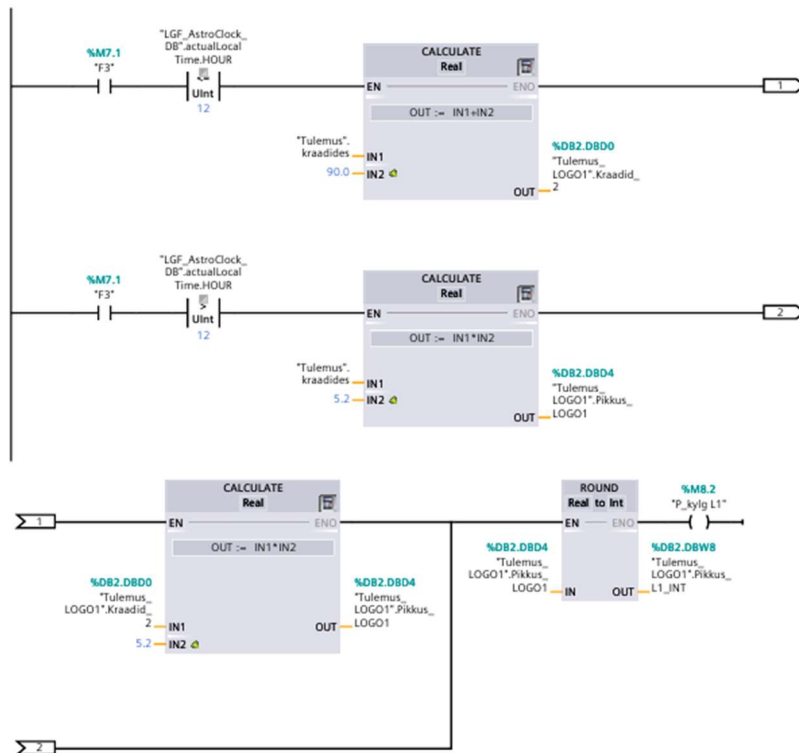
Energiajaama üks päikesepaneelidega kaetud külj peab olema alati üle katuse tasapinna. Päeva esimeses pooles madalamal olevale küljele liidetakse peale kella 12.00 juurde 90 kraadi, seda selleks, et külj peab liikuma üle katuse tasapinna (Joonis 3.17).



Joonis 3.17. Lineaarajami käigupikkuse arvutamine millimeetrites, päeva esimeses pooles madalamal olev tiib

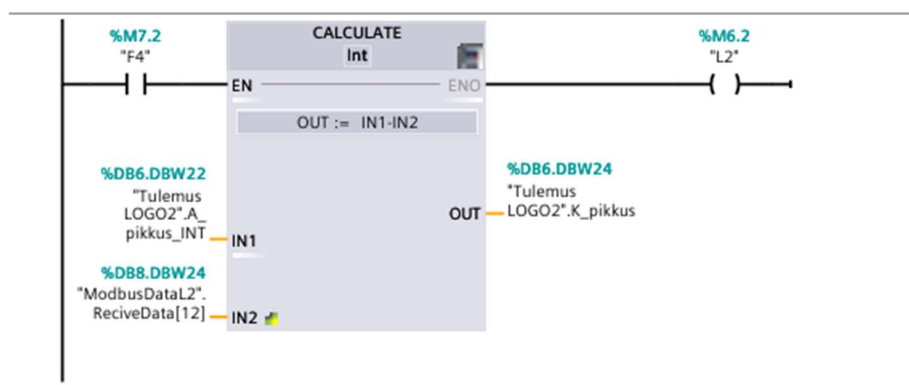
Projektis kasutatud lineaarajami maksimaalne käigupikkus on 700 mm. Arvutustega saadud kraadidega arvutatakse välja mitu millimeetrit peab lineaarajam välja liikuma. Teada on ka nurk, mille all tiib on kui lineaarajam on saavutanud maksimaalse käigupikkuse, selleks on 135 kraadi.  $700/135 = 5,2$  ehk, et paneeli liigutada 1 kraadi võrra peab lineaarset ajamit välja liigutama 5,2 mm. Seega korrutatakse saadud tulemus konstandiga 5,2 ning saadakse vastav lineaarajami käigupikkus.

Päeva esimeses pooles kõrgemal olnud päikesepaneelidega kaetud tiib liigutatakse nüüd alla poole ehk ei liideta enam nurgale 90 kraadi juurde (Joonis 3.18).



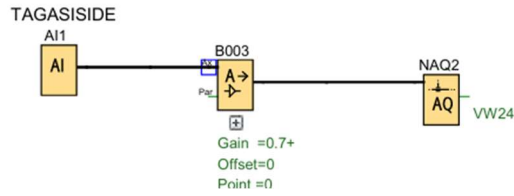
Joonis 3.18. Lineaarajami käigupikkuse arvutamine millimeetrites, päeva esimeses pooles kõrgemal olev tiib

Järgmisena loetakse lineaarajami tagasisidet. Seejärel lahutatakse arvutustega saadud lineaarajami käigupikkus tagasisidest saadud tulemusega (Joonis 3.19). Lineaarajami tagasiside on ühendatud LOGO8 analoogsisendisse. Tagasiside signaal on 0-10 V, mis LOGO programmis vastab 0-1000 väärtusele.



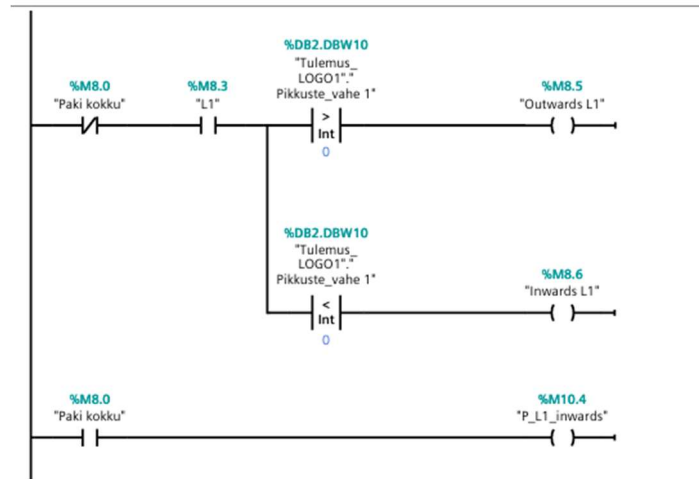
Joonis 3.19. Arvutatud asendi ja tagasisidest saadud asendi vahe

Lineaarajami käigupikkus on maksimaalselt 700 mm, mistõttu analoog signaal konverteeritakse vahemikku 0-700 (Joonis 3.20).



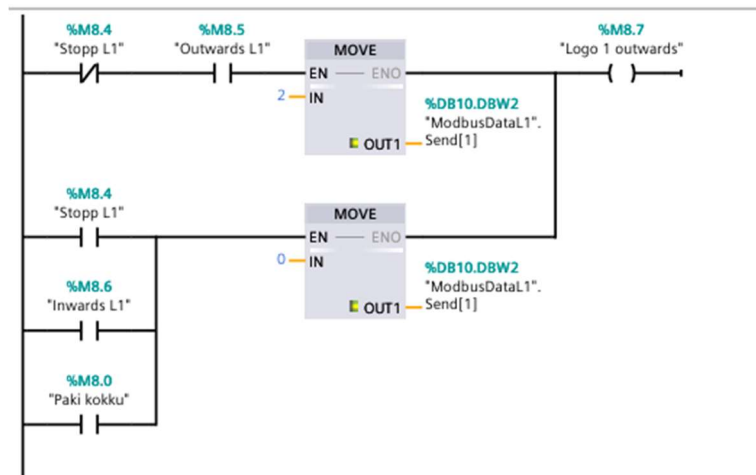
Joonis 3.20. Tagasiside konverteerimine väärtuseni 0-700

Arvutatud suuruse ja tagasiside tulemuse väärtuse põhjal otsustab programm, kas lineaarajam peab liikuma sisse poole või välja poole. Kui tulemus on väiksem kui null, siis liigutatakse lineaarajamit sisse poole. Kui tulemus on suurem nullist, siis liigutatakse lineaarajamit välja poole. Paki kokku käsu korral liigutatakse lineaarajam sisse poole. (Joonis 3.21).



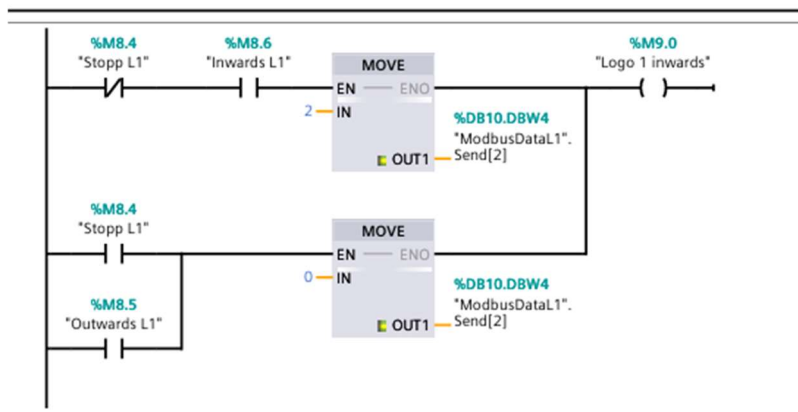
Joonis 3.21. Lineaarajami juhtimine

Selleks, et lineaarajam saaks liikuda välja poole saadetakse LOGO8 kontrollerrisse vastav väärtus (Joonis 3.22). S7 kontrollerrist LOGO8 kontrollerrisse ei ole võimalik saata õige/vale (0/1) väärtust. Vaid ainult täisarvulisi väärtuseid. Lineaarajami välja liigutamiseks saadetakse väärtus kaks LOGO *network* analoog 3 sisendisse (NAI3), mis käivitab logo väljundis 2 oleva relee. Tegemist on ühepooluselise releega, mis käivitab lineaarajami (Joonis 3.24).

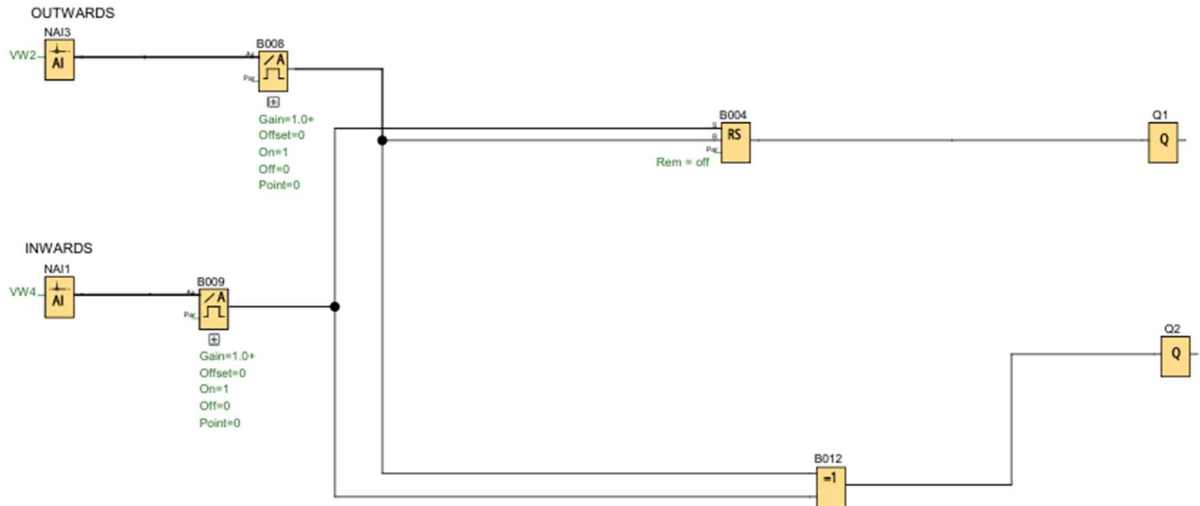


Joonis 3.22. Lineaarajami liigutamine välja.

Lineaarajami sisse poole liigutamiseks saadetakse LOGO8 *network* analoog 3 sisendisse (NAI3), väärtus 0 (Joonis 3.22) ning NAI1 väärtus 2 (Joonis 3.23). LOGO8 kontrolleriis on lahendatud juhtimine *Latching relay* plokiga, mis juhib väljundit 1, kuhu ühendatakse DPDT rele. Antud releega muudetakse lineaarajami pooluseid, misjärel liigub lineaarajam sisse poole. Väljundisse 2 ühendatav rele peab lülituma iga kord, kui toimub lineaarajami liigutamine, seetõttu on see lahendatud kasutades VÕI-funktsiooni (Joonis 3.24).

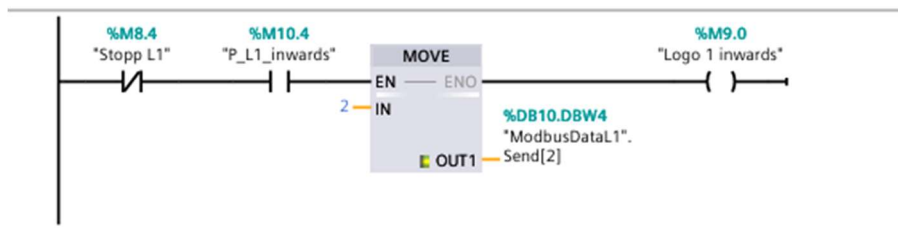


Joonis 3.23. Lineaarajami liigutamine sisse.



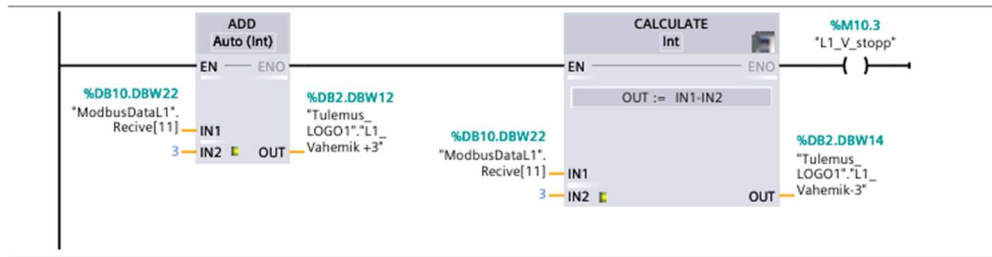
Joonis 3.24. LOGO8 kontrolleriis olev loogika lineaarajami juhtimiseks.

Kui tuleb käsk pakkida jaam kokku, siis liigutatakse lineaarajam sisse poole. Mistõttu saadetakse LOGO8 kontrolleriisse vastav väärtus (Joonis 3.25).



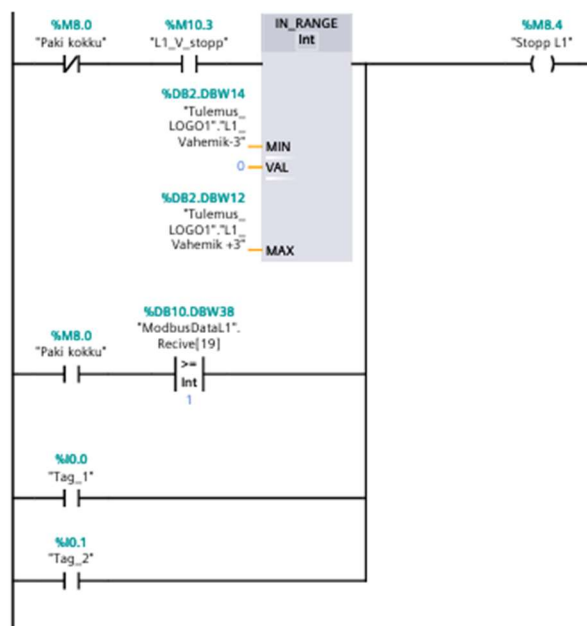
Joonis 3.25. Tiibade kokku liigutamine.

Lineaarajami käigupikkuse kontroll toimub läbi LOGO8 kontrolleri tagasiside ahela. Lineaarajami toide katkestatakse, kui tagasiside väärtus jõuab arvutatud väärtuseni. Tagasiside väärtus kõigub mõne väärtuse võrra, seetõttu ei saa kasutada võrdub tingimust. Tagasiside väärtuse kõikumisel ja võrdub tingimuse kasutamisel jääb lineaarajam sisse-välja liikuma. Seega on kasutatud väärtuste vahemikku. Tagasiside väärtus peab jääma vahemiku +/-3 arvutatud väärtusest, nagu seda on näidatud joonisel 3.26.



Joonis 3.26. Vahemiku moodustamine.

Lineaarajamite toide lülitatakse välja kolmel juhul. Lahendatud on see VÕI funktsiooniga. Esimesel juhul lülitatakse toide välja kui vastav tagasisideväärtus on arvutatud asukohaga +/-3 suurusjärgus ja samal ajal ei ole paki kokku käsku. Teisel juhul lülitatakse toide välja kui paki kokku käsk on tulnud ja teekonnalülitid on sisse lülitatud. Kolmandal juhul lülitatakse toide välja kui on vajutatud punast avariinuppu (Joonis 3.27).



Joonis 3.27. Lineaarajami stopp funktsioon.

Teekonnalülitid peavad lülituma, kui on käsk pakkida jaam kokku. Kui teekonnalülitid on lülitunud, siis on jaam kokku pakitud korrektselt. Teekonnalülid on ühendatud LOGO8 digitaalsisendisse, ning saadetakse üks byte S7 kontrollerrisse, mis võrdub väärtusega 256. Seega saab kasutada tingimust kui saadud väärtus (256) on suurem kui 1, siis mootorite toide katkestada.



## 4. ELEKTRI- JA AUTOMAATIKASÜSTEEMI KOOSTAMINE

### 4.1 Kommunikatsioon

Kommunikatsioon seadmete vahel on oluline, et süsteem toimiks ühtse tervikuna. Esmalt on kommunikatsioon seadmete vahel tööle pandud labori tingimustes. Kommunikatsiooni keskseadmeks on Cerbo GX. Cerbo GX jälgib kogu energiahankimise ja talletamise süsteemi. Samuti on läbi Cabo GX süsteem eemalt hallatav.

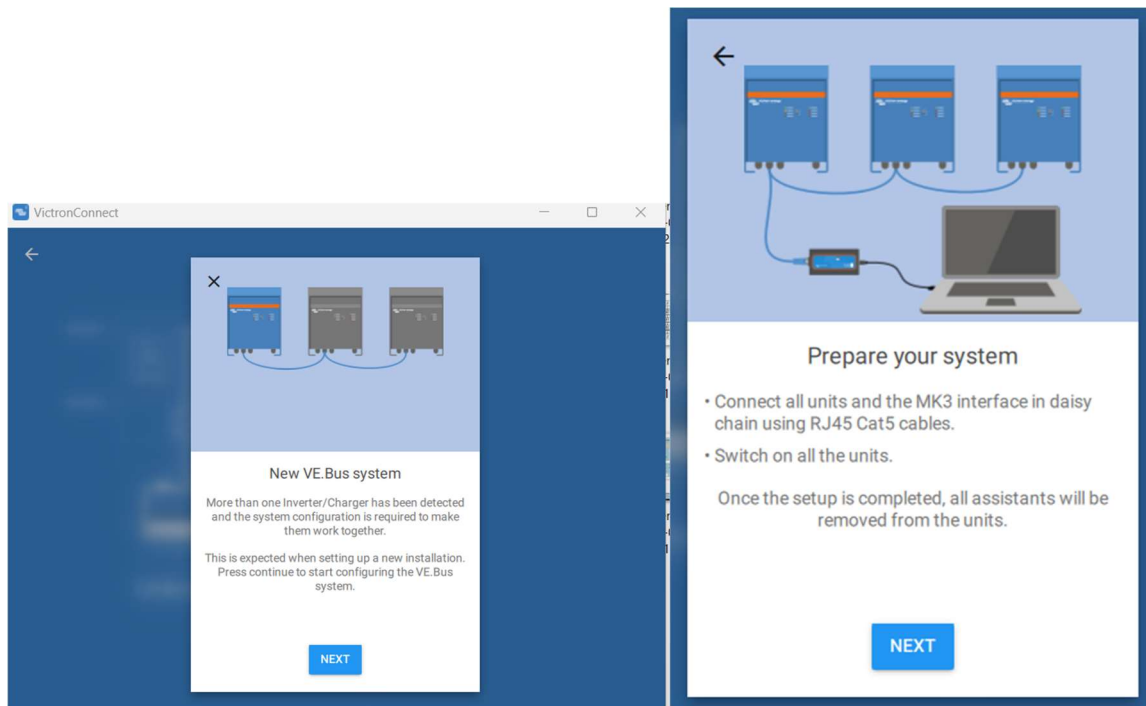
Esimeseks etapiks oli seadistada VRM (*Victor Remote Management*). Esmalt tuli luua kasutajakonto, läbi mille kogu süsteemi jälgimine toimub. Seejärel sisestada Cerbo GX ID (nähtav toote korpusel). Cerbo GX seadmes tuli, kasutades Victron Energy kasutajaliidest, esmalt määrata Wi-Fi juurdepääsupunkt. Läbi Cerbo GX toimub andmesideühendus välisvõrguga. Peale seda on VRM-is Cerbo GX nähtav, samuti on sealt näha ka kõik Cerbo GX külge ühendatud seadmed.

Järgmiseks etapiks oli Cat 5e kaablite valmistamine. Aku ja Cerbo GX vaheliseks ühenduseks oli vaja valmistada VE.Can/CAN-Bus BMS kaabel. Kuna aku manuaalis kirjas ei olnud, kas seade töötab tüüp A või tüüp B kaabliga, siis tuli katsetada. Esmalt valmistati tüüp A kaabel, millega kommunikatsioon tööle ei hakanud. Seejärel tüüp B kaabel, millega suhtlus Cerbo GX ja aku BMS vahel toimus. Pin järjestus on tehtud vastavalt Victron Energy VE.Can/ CAN-Bus BMS kaabli juhendile [57].

Cerbo GX külge ühendati järgmiseks MPPT kontrollid. Kontrollid on ühendatud jadasse, seega hõivati Cerbo GX üks VE.Can port.

Inverterite ja Cerbo GX vaheline kommunikatsioon toimub läbi VE.Bus protokoll. Kuna kasutusel on kolm ühe faasilist inverterit, tuli esmalt seadistada inverterid kolme faasi süsteemile. Ehk üks inverter üks faas. Selleks on kasutatud MK3-USB liideskaablit [58], mis omakorda on ühendatud arvuti USB porti.

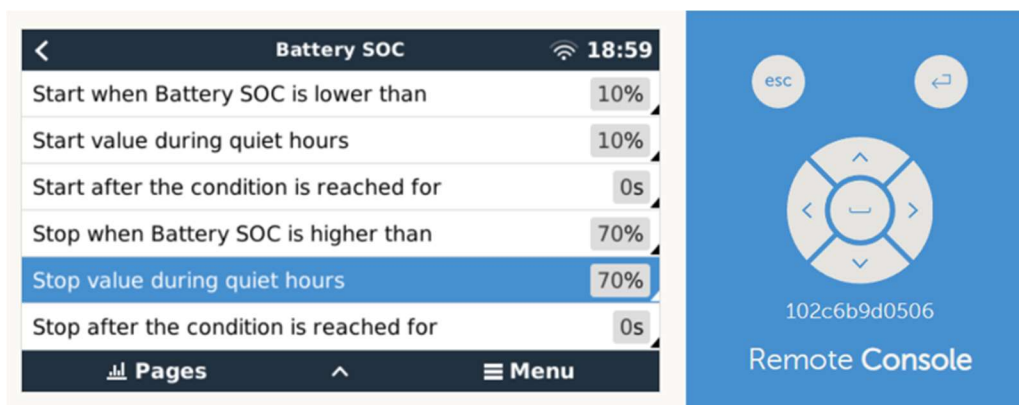
Läbi *Victron Connect* kasutajaliideses toimub inverterite seadistamine. Esmalt teostatakse kõikidele inverteritele tarkvarauuendus, et kõik inverterid töötaksid sama versiooni peal. Edasi annab kasutajaliides võimaluse valida, mis konfiguratsioonis inverterid töötavad. Antud projekti raames on selleks kolmefaasiline konfiguratsioon. Seejärel on määratud inverterite järjestus, mis on millise faasi inverter.



Joonis 4.1. Inverterite seadistamine

Victron Energy tootesarja kuulub elektriautolaadija [25], mis ühildub samuti Cerbo GX-ga. Cerbo GX ühildamiseks on esmalt lisatud elektriautolaadija samasse võrku, kus on ka muud seadmed. Suhtlus toimub läbi Wi-Fi ühenduse. Autolaadija on ühendatud Cerbo GX võrku. Autolaadijat konfigureerides on lisatud seadmesse Cerbo GX IP aadress, mistõttu on autolaadija parameetrid nüüd nähtaval VRM portaalis.

Järgmiseks seadistatakse automaatne generaatori lülitus, mis on lahendatud Cerbo GX seadmega. Selleks on generaator ühendatud Cerbo GX releeväljundisse. Seadmes endas on tehtud vastavad seadistused (Joonis 4.2).



Joonis 4.2. Generaatori seadistamine

Praeguses arendusfaasis on generaator tagavara energiaallikas, mis peaks käivituma siis, kui akupaki laetustase on minimaalne ehk 10%. Generaatoril on lubatud laadida akupakk kuni 70%.

## 4.2 Energiavoog stendil

Tegemist on prototüübiga, mistõttu pani autor süsteemi esmalt kokku laual. Seda selleks, et oleks parem ülevaade süsteemist ning samuti vigade leidmine on nii lihtsam. Ühendatud on omavahel akud ja inverterid. Selleks kasutas autor *Lynx distributor* ühenduslatti, kuhu on seadmete vahelised kaitsmed paigaldatud. Aku ette on paigaldatud ohutuse tagamiseks jõulüliti.

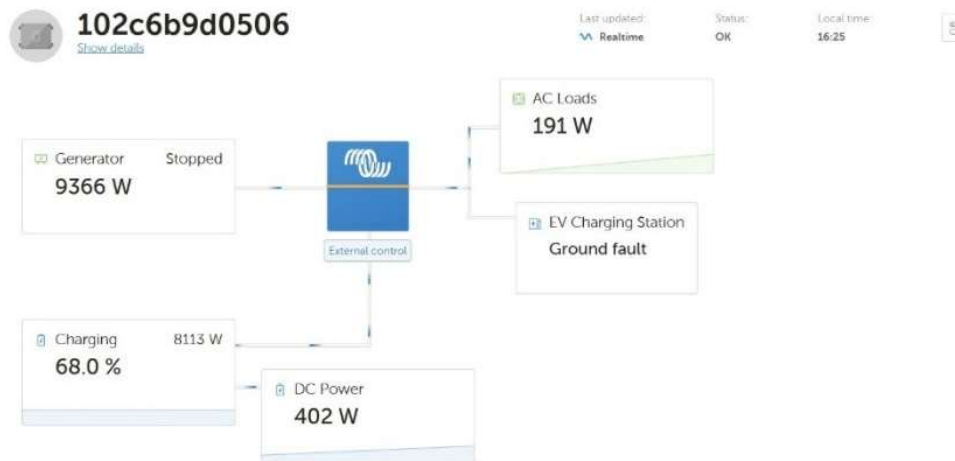
Seadmete seadistamiseks on kasutatud 48 V toiteplokki. Praeguses etapis on toiteplokk välja vahetatud akupaki vastu. Inverterite ühendamisel akudega viis akusüsteemis oleva kaitsme rakendumiseni ning akuhaldussüsteem väitis, et tegemist on lühisega. Ühendusviga süsteemis ei olnud. Samuti prooviti teisi seadmeid akupaki taha, ning need töötasid ilma, et akusüsteem häiresse läheks.

Lahendus antud probleemile on see, et süsteemi tuleb ühendada takisti ja seda igakord kui inverterid on akudest eraldatud. Seda selleks, et laadida täis inverterite sees olevad kondensaatorid. Esiialgu on kondensaatorite pinge null ja seetõttu pole takistust. Mistõttu tekitab antud olukord BMS-is lühise häire.

Kasutati töökojas olevat 72  $\Omega$  takistit, millega süsteemi testida. Takisti ühendati akupaki miinus клемми ja miinuskaabli vahele. Hetke pärast alustati multimeetriga inverterite клемmidelt pinge mõõtmist. Inverterite sisselülitamine ei ole vajalik kondensaatorite laadimiseks. Korruga inverterite sisselülitamisel hakkas pinge kukkuma, seda seetõttu, et 72  $\Omega$  takistusest jäi seetõttu väheks. Saadud soovitud pinge kätte inverteri клемmidelt, eemaldati takisti ja inverterid töötasid ilma, et aku BMS häiresse läheks.

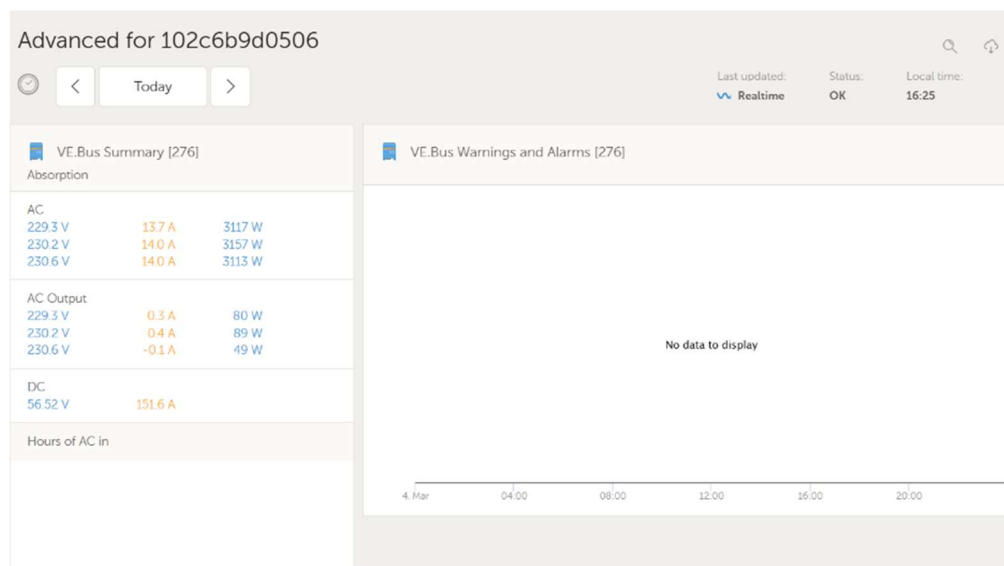
Järgmiseks katsetuseks laeti akusid läbi inverterite. Selleks valmistati pikendusjuhe, kasutades 5G2,5 kaablit ning ühendati seinas olevasse jõupesasse. Kuna tegemist on kolme ühefaasilise inverteriga, siis tuli igale inverterile ühendada 3G2,5 kaabel, mis ühendati kokku 5G2,5 kaabliga. Esimese katse järel inverterid akusid laadima ei hakanud. VRM keskkonda viskas veateate, et faaside järjestus on vale, mis tähendas, et seinast tulev faaside järjestus ei olnud õige. Vahetades ära esimese ja kolmanda faasi hakkas inverter laadima.

Jooniselt 4.3 on näidatud, et 1,2 kW on kaduma läinud. Seda osaliselt seetõttu, et akudega kaasas olnud kaablid läksid väga kuumaks, mis tekitas antud energiakao.



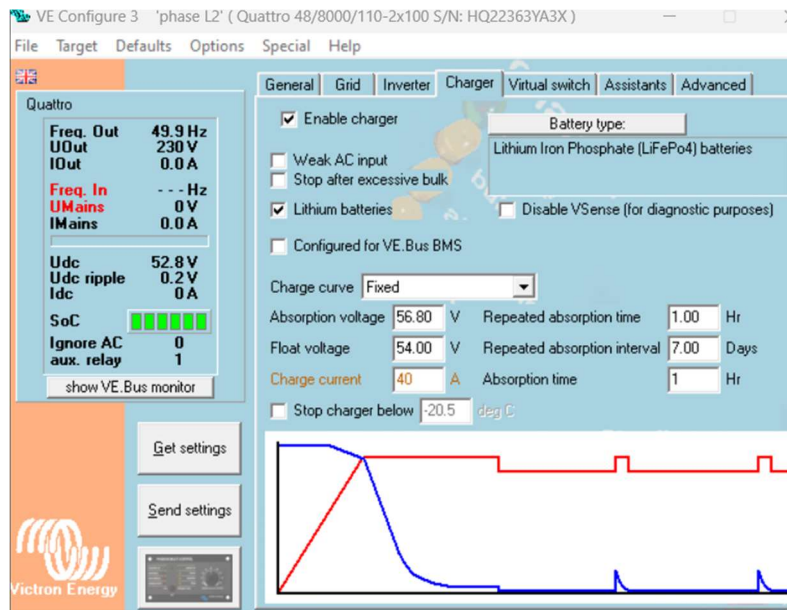
Joonis 4.3. VRM süsteemi monitooring, akude laadimine

Jooniselt 4.4 on näidatud iga faasi koormusvool ja voolutugevus, millega laetakse akusid. Kolme inverteri peale on voolutugevus kokku 151,6 A .



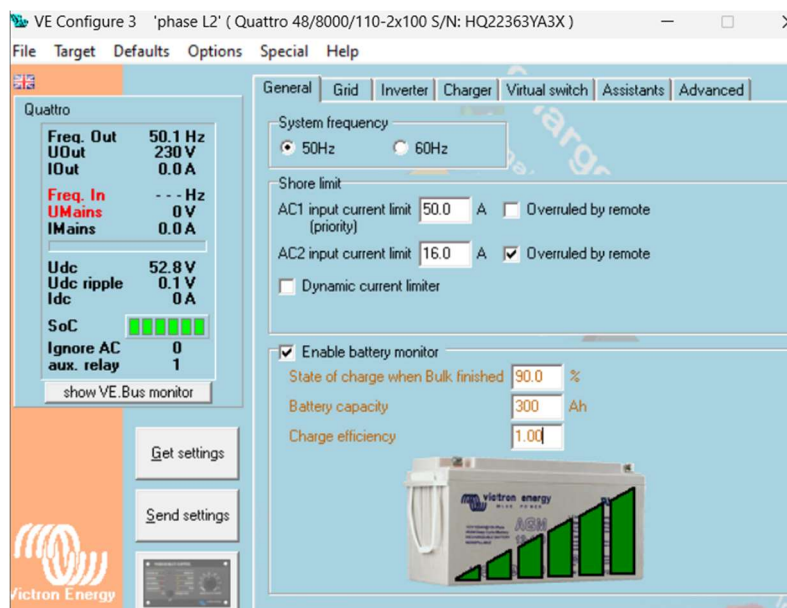
Joonis 4.4. VRM süsteemi monitooring, võrgupistikust tulev voolutugevus

Akude eluea pikendamise tõttu ei ole mõistlik laadida maksimaalse lubatud laadimisvoolu juures. Akude maksimaalne laadimisvool on 50 A. Seetõttu seadistati inverterid laadimaks akusid maksimaalselt 40 A juures (Joonis 4.5). Mis teeb kokku kolme inverteri peale laadimisvooluks 120 A.



Joonis 4.5. Inverterite laadimisvoolu seadistamine

Inverterid on võimelised jälgima akude laetavust. Mistõttu on võimalik seadistada läbi inverterite akude laetavustase (Joonis 4.6). Liitiumakude puhul ei ole mõistlik akusid laadida üle 90%



Joonis 4.6. Akude laadimisvoolu piiramine

Seega on seadistustes määratud akude laetavustasemeks 90%.

### 4.3 Paigaldustööd

Paigaldustöödega alustati päikesepaneelide ahelate kokku ühendamisest. Päikesepaneelide ahelad ühendati kokku vastavalt peatükis 3.2 kirjeldatud viisil. Päikesepaneeli juhtmeid tuli pikendada. Pikendamiseks kasutati H07V-K (MKEM) 6

musta juhet [59] ning see otsastati päikesepaneeli poolel MC4 pistikutega. Seda seetõttu, et päikesepaneelil olid juba küljes antud pistikud ning seetõttu oli lihtsam kaablite pikendamine. Koondumiskohas otsastati juhtmehülssidega.

Päikesepaneeli juhtmed veeti kokku treileri etteotsa. Lakke said paigaldatud ühenduskarbid, kus sees on kokku ühendatud vastava MPPT pluss ja miinus otsad (Joonis 4.7). Ühenduskarpi paigaldati veel MCB kaitselüliti, mis täidab endas isolaatori ülesannet. Projektis olid ette nähtud kahepooluseline kaitselüliti, kuid vastavate voolu väärtustega kahepooluselist kaitselülitit polnud kohe saadaval. Seega tuli kasutada kolmepoolusega kaitselüliteid (vooluväärtus ja karakteristikud jäid samaks), millest kasutusele läks kaks poolust. Kaabeldus on teostatud vastavalt projektile.



Joonis 4.7. Harukarpide paigaldus

Treileri etteotsa oli varasemas arendustöö etapis koostatud raam energiamooduli seadmetele, mis vajab kohandamist. Selleks, et sinna peale mahutada kõik projektis kasutatavad energiatootmiseks vajalikud seadmed, ehitati raam suuremaks ning lisati seadmestikule kinnituskohad. Raami ümbertegemine teostati Eesti Maaülikooli Agrorobotika töörühma poolt. Raamile on seadmed paigaldatud nii, et need oleks võimalikult kompaktselt paigaldatud.



Generaator asub raami paremas nurgas. Akud asuvad raamil keskel ning akude kohale on paigaldatud MPPT kontrollid, mille kohal laes asuvad päikesepaneelide harukarbid. Raami vasakusse nurka on paigaldatud kolm inverterit (Joonis 4.8).



Joonis 4.8. Seadmete paigaldus raamil, eest vaade

Teisele poole raami on paigaldatud *Lynx Distribution* latid. Samuti asub seal jõulüliti, mis katkestab akude ja *Lynx Distributioni* vahelise vooluahela. Lisaks paikneb raamil peajaotuskilp, kuhu koonduvad kaitselülitid, Siemens S7 kontrollid, *switch* ja Cerbo GX (Joonis 4.9).



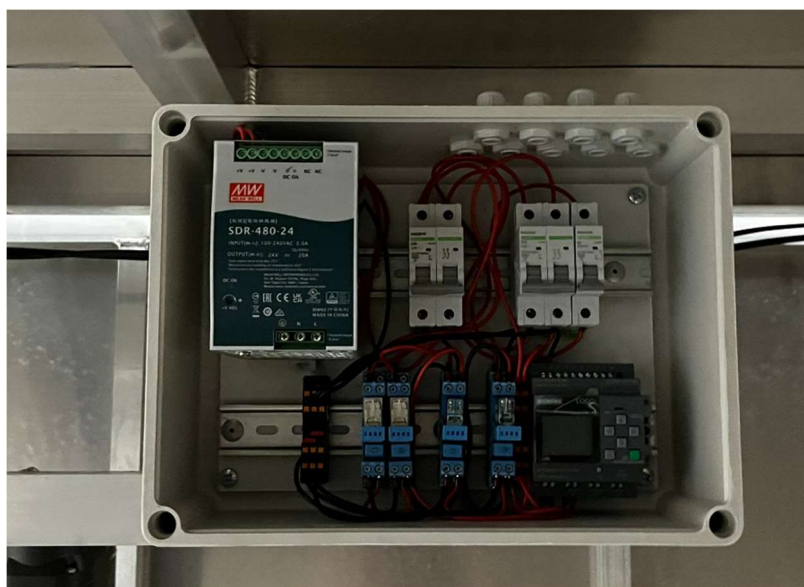
Joonis. 4.9. Seadmete paigaldus raamil, tagant vaade.

Kogu kaabeldus on teostatud vastavalt skeemidele, mis asuvad lisa 1. Tehase akukaablid vahetati välja jämedamate kaablite vastu. Akupakkide vahele on paigaldatud 1x35mm<sup>2</sup> kaabel. Akude ühenduslatil *Lynx Distribution* latile on paigaldatud 1x120mm<sup>2</sup> kaabel.

Järgmiseks etapiks oli lineaarajamite juhtimiseks kilpide koostamine. Kilbiks sai valitud polüesterkarp, mõõtmetega 360x270x170 [60]. Igasse kilpi on paigaldatud ka paigaldusplaat [61], kuhu külge on kinnitatud DIN liist. Kokku on koostatud neli kilpi, igale küljele üks. Kilpi tuli ära mahutada toiteplokk, kaitselülitid, releed, riviklemmid ja LOGO8 kontrollid.

Igasse kilpi on veetud peakilbist toitekaabel toiteplokkidel. Lineaarajamite toitekaabel ja kontrollkaabel. Samuti on veetud antud kilpidesse teekonnalülitide kaablid. Pikemal küljele on paigaldatud kaks teekonnalülitit, üks mõlemasse otsa. Lühemal küljel on üks teekonnalüliti.

Joonistelt 4.10 ja 4.11 on näha komplekteeritud kilbid. Joonisel 4.10 on näidatud kahe mootori juhtimiseks kilp, kuhu on paigaldatud kahe mootori jaoks eraldi releed. Selliseid kilpe koostati kaks komplekti, mõlemale küljele. Joonisel 4.11 on näidatud ühe mootori juhtimiseks koostatud kilp ehk lühemale küljele, mida samuti koostati kaks komplekti.



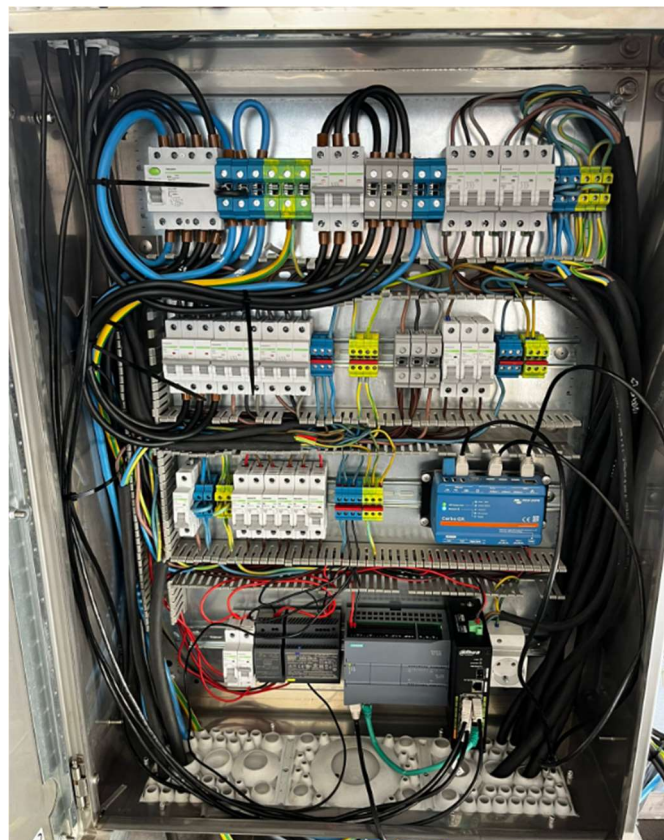
Joonis 4.10. Kahe mootoriga külje kontrollimiseks komplekteeritud kilp





Joonis 4.11. Ühe mootoriga külje kontrollimiseks komplekteeritud kilp

Järgmiseks etapiks oli peajaotuskilbi komplekteerimine (Joonis 4.12). Kilbi valiti mõõtmetega 800x300x250 [62]. Kilbi komplekteerimisel on paigaldatud kaitseseadmed vastavalt vooluastmele. Esimesse ritta on paigaldatud rikkevoolukaitse ja sellele järgneb peakaitseüliliti. Teisele reale esimesesse poolde on paigaldatud kolmefaasiliste tarbijate kaitselülitid.



Joonis 4.12. Peajaotuskilp

Järgmiseks on paigaldatud riviklemmid, kust toimub faaside jagamine. Esimesele faasile on paigaldatud pistikupesad. Teisele faasile on paigaldatud kõik toiteplokid. Kolmandale faasile on paigaldatud 1 faasiline 32 A pistikupesa.

Kilbi kõige alumisele reale on paigaldatud madalpingel töötavad seadmed, milleks on Siemens S7 kontrollid, Cerbo GX kommunikatsiooniseade ja *switch*. Seadmete ja toiteploki vahele on ettenähtud samuti kaitselülid. Siemens S7 toiteplokk on valitud MeanWell toodete seast HDR-150-24 [63]. Antud toiteploki jaoks antakse toide lisaks veel Cerbo-GX seadmele. Kilpi paigaldatud *switch* töötab 48 V juures, mistõttu on paigaldatud kilpi toiteplokk HDR-150-48 [64].

Kilpi on paigaldatud DIN liistule pistikupesa, mis on ette nähtud ruuterile.

Peajaotuskilbi põhjale on paigaldatud läbiviiguplaat. Külgedel olevatest jaotuskilpides tulenevate kaablite jaoks on kilbi ülaserva puuritud läbiviigud.

## 4.4 Katsetused

Katsetuste eesmärgiks oli veenduda, et projekteeritud ja komplekteeritud süsteem töötab vastavalt ootustele. See tähendab, et elektrienergiat on võimalik tarbida ning kõik seadmed töötavad korrapäraselt. Katsetused viidi läbi kõigepealt süsteemi järkjärguliselt sisse lülitamisel. Kõigepealt akud, siis inverterid ja seejärel lülitati sisse päikesepaneelide MCB lülid. Edasi liiguti peakilpi kui alustades peakaitsmest lülitati järkjärguliselt sisse kaitselüliteid. Seejärel lülitati jaotuskilpide kaitsmed sisse. Sellega veenduti, et süsteem on õigesti kokku ühendatud. Kuna kõik seadmed töötasid ja kaitsmed ei lülitunud välja.

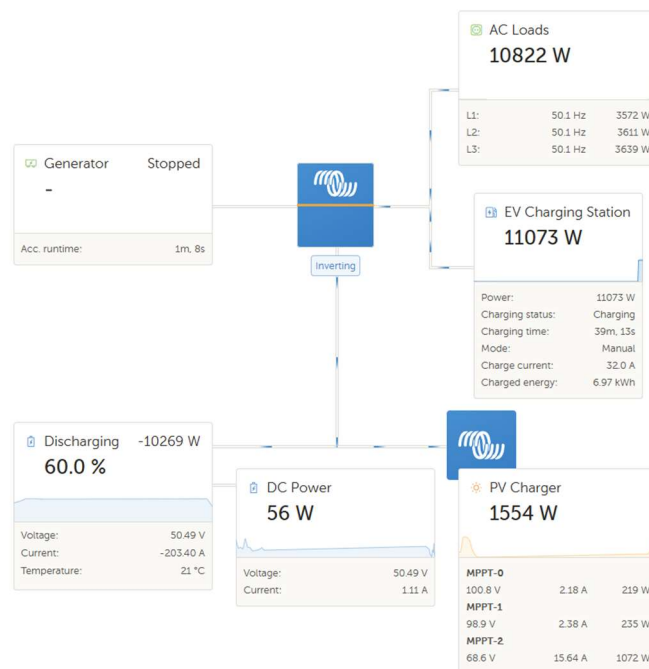
Energiajaama tööd katsetati elektriauto akut laadides. Testimine viidi läbi Eesti Maaülikooli parklas. Kasutati Type 2 laadimiskaablit. Energiajaama pikemad tiivad olid laadimishetkeks kinni pakitud, avatud olid lühikesed küljed, mis olid 90 kraadise nurga all. Ilm oli pilvine ja temperatuur 6 kraadi.

Auto laadimine toimus kolme faasi pealt. Laadimisseadmel on võimalik paneelilt muuta voolutugevust vahemikus 6 A – 32 A. Laadimisega alustati 6 A juures ja lõpetati 16 A juures. Akude laetavustase laadimise algushetkel oli 99%. Jooniselt 4.13 on näidatud üles seatud katse seadistus.



Joonis 4.13. Elektriauto laadimine

Joonisel 4.14 on näidatud päikesepaneelidelt toodetavat energiahulka, milleks on 1554 W. Antud tootlikkus on pilvise ilmaga. Laadimisenergiaks on 11073 W, mistõttu toimub laadimine akude pealt.



Joonis 4.14. Autolaadimine, VRM väljavõte

Kuna akude mahtuvus on 14,4kWh, siis ainult energijaama akudega pole võimalik elektriauto akut täis laadida. Elektriauto aku laadimismahtuvuseks kokku oli 13,9 kWh. Laadimine kestis 1 h ja 15 min.

Elektriauto aku mahtuvuseks on 50kWh. Enamasti laetakse akut 20%-80%-ni, mis teeb laetavaks mahtuvuseks 30kWh. Kui energijaama soovitakse kasutada peamiselt elektriauto laadimiseks ja seda ka päevadel, mil on pilvine ilm, tuleks kaaluda aku mahtuvuse suurendamist akupakkide juurde lisamise näol.

Arvestades akude mahtuvust, milleks on 14,4 kWh ja päikesepaneelidelt tulevat maksimaalset võimsust päikselise ilmaga on 6820 W. Siis elektriauto aku mahtuvusega 50 kWh, saaks laadida 20 % pealt 80 %ni 2,5 tunniga. Kui tegemist on suvise päikeselise ilmaga ning energijaama kõik küljed on õige nurga all. Arvestatud on siin juures ka energijaama sisemist tarbimist. Seadmete sisemine tarbimine on 0,25 kWh. Lisaks paneelide liigutamisest tulenev energiakulu 1200 W.

## 4.5 Kulu arvestus

Kulu arvestus on tehtud näitamaks palju läheb maksa antud projekti ehitus. Kulu arvestusse ei ole arvestatud installatsioonitarvikuid (kaablikingad, hülsid, kaablikinnitused, riviklemmid jne). Samuti ei ole siia arvestatud DIN liiste ja harukarpe jms, mida polnud vaja osta, kuna olid eelnevatest projektides üle jäänud. Kaablite kogused on toodud umbmäärased.

Tabel 4.1. Hinna kalkulatsioon

	<b>Toode</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind</b>
1	Inverter Quattro 48/8000/100	3	7470,00
2	MPPT 150/70	3	840,00
3	Akud	3	3639,90
4	Akude ühenduslatt	1	98,00
5	Lynx Distribution	2	298,00
6	Cerbo GX	1	300,00
7	Sulavkaitsme hoidik	1	10,00
8	MEGA 60A	2	44,00
9	MEGA 80A	1	22,00
10	MEGA 200A	3	66,00
11	MEGA 400A	1	22,00
12	48 V jõulüliti	1	30,00
13	Avariistopp lüliti	2	55,50
14	Kilp 800x600x250	1	518,90
15	Kaitselüliti 1P B2	5	12,30
16	Kaitselüliti 1P B4	2	4,92
17	Kaitselüliti 1P B6	4	10,32

Tabel 4.1. Järg

	<b>Toode</b>	<b>Kogus</b>	<b>Hind</b>
18	Rikkevoolukaitse 4P B63	1	32,82
19	Kaitselüliti 3P B63	2	26,66
20	Kaitselüliti 3P B32	4	32,16
22	Kaitselüliti 3P B16	2	14,34
23	Kaitselüliti 1P B16	3	6,24
24	Kaitselüliti 1P B32	1	4,88
25	Polüesterkarp 360x270x170	4	177,84
26	Paigaldusplaat	4	40,24
27	Toiteplokk SDR-480	4	615,56
28	Toiteplokk HDR-150-24	1	56,00
29	Toiteplokk HDR-150-48	1	51,00
30	LOGO 8 kontrolleri	4	468,00
31	Siemens S7 1215C DC/DC/DC	1	495,66
32	Switch	1	227,00
33	Teekonnalülitiid	6	102,60
34	Victron autolaadija	1	498,00
35	Pistikupesa 16A	3	21,00
36	Pistikupesa 32A	1	5,00
37	Pistikupesa 3P 32A	1	7,00
38	Pistikupesa 3P 16A	3	18,00
39	H07V-K (MKEM) 6 must juhe	70	132,30
40	H07V-K (MKEM) 10 must juhe	5	9,45
41	Kaabel H01N2-D 1x16	15	48,90
42	Kaabel H01N2-D 1x35	2	23,80
43	Kaabel H01N2-D 1x50	15	213,15
44	Kaabel H01N2-D 1x120	5	198,00
45	Kaabel H07RN-F 3G1,5	20	31,60
46	Kaabel H07RN-F 3G2,5	10	22,40
47	Kaabel H07RN-F 3G4	30	137,10
48	Kaabel H07RN-F 5G4	15	96,08
49	H07V-K (MKEM) 25 must juhe	30	150,00
50	H07V-K (MKEM) 25 sinine juhe	15	75,00
51	Kontrollkaabel 2x0,5	50	30,00
52	Kaabel 4x2x0,5 Cat 5e DNS	40	20,00
		<b>KOKKU</b>	<b>17529.62</b>

Lõputöös lahendatud projekti maksumuseks oli umbes 17529,62 eurot. Hinnale lisanduvad veel installatsioonitarvikud.

## 4.6 Edasised arendused

Antud lõputööga raames lahendati üks osa kogu projektist. Edasiarendusena tuleks lisada energiajaamale juurde fototakistitel põhinev valgustugevuse jälgimine. Seda selleks, et päikesejälgimise süsteem oleks täpsem ja veakindlam. Hetkel kui Siemens S7 kontrolleriis peaks kellaag mingil põhjusel valeks minema, ei arvutaks programm enam õiget päikesetõusu nurka.

Edasiarenduses tuleks energiajaamale juurde integreerida tuuleandur. Seda eelkõige ohutuse tagamiseks. Tormituulte korral tuleks energiajaama tiivad kokku pakkida, et vältida konstruktsiooni purunemist. Ohutuse tagamiseks oleks mõistlik paigaldada temperatuuriandurid akudele ja inverteritele. Samuti igasse kilpi, et jälgida reaalajas temperatuuri, et vältida tulekahjut. Cerbo GX ja inverteritel on sisend olemas temperatuuri mõõtmiseks.

Ohutuse tagamiseks oleks mõistlik paigaldada turvakiired liikuvate tiibade alla, seda seetõttu, et vältida tiibade liigutamist kui kasutaja viibib nende all. Siemens S7 on piisavalt vabu sisendeid selle teostamiseks.

Energiajaama ümbruse jälgimiseks võiks edasiarenduste raames paigaldada PoE toitel kaamera. Antud jaama on paigaldatud PoE võimekusega *switch*.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö on jagatud kolmeks osaks. Esimene osa on turu-uuring, teine osa on projekteerimine ja kolmandaks osaks on paigaldustööd. Neljandas etapis on energijaama katsetamine, ning tulemuste analüüs. Esimeses osas on uuritud energijaama ja päikesepaneelide automaatselt liigutamise teemalisi patente, ning turul olevaid mobiilseid energijaamasid.

Turu-uuringus uuriti nelja turul olevat mobiilset energijaama. Mitte ühegi energijaama päikesepaneelid ei olnud automaatselt liigutatavad. Kolmel uuritaval energijaamal olid päikesepaneelid manuaalselt liigutatavad ja ühel polnud neid võimalik üldse liigutada. Turu-uuringu saadud tulemuseks on avastatud teiste energijaamade massi, ning päikesepaneelidest tulenevat võimsuse suhet. Turul olevad tooted ei ole efektiivsed kõrge massi ja madala kasuteguri suhte tõttu.

Projekteerimise faasis lahendati elektri- ja automaatikasüsteem. Esimeseks ülesandeks oli päikesepaneelide jagamine gruppideks. Päikesepaneelide kaabeldus on lahendatud jada-paralleel ühenduses. Paneelid on jagatud kolme laadimiskontrolleri vahel. Esimese ja teise laadimiskontrolleri külge on ühendatud kuus päikesepaneeli. Kolmanda laadimiskontrolleri külge on ühendatud kümme päikesepaneeli. Paneelide jagamisel laadimiskontrollerite vahel on jälgitud, et ühe laadimiskontrolleri taga olevad paneelid vaatavad kõik ühte suunda. Laadimiskontrollerina on kasutatud SmartSolar MPPT 150/70.

Energia hankimise süsteem lahendati Victron Energy toodetega. Inverteritena on kasutatud Quattro 8000/48/100. Tegemist on ühe faasiliste inverteritega, kuid EAG304 projekt näeb ette kolme faasilist süsteemi, mistõttu on projektis kasutatud kolme ühe faasilist inverterit, mis koos annad välja kolm faasi.

Inverterid töötavad 48 V juures, seetõttu on valitud akud vastava pingega. Akudeks valiti LiFePO<sub>4</sub> räkivad akupakid. Kokku on antud projektis kasutatud kolme akupakki, mis teeb kogu mahtuvuseks 14,4 kWh. Akudesse on sisse ehitatud BMS ehk akuhaldusüsteem.

Süsteemi kommunikatsioon on lahendatud kasutades Cerbo GX seaded. Seade loeb infot laadimiskontrolleritelt, akudelt ja inverteritelt. Antud seadme ülesandeks on monitoorida akude olekut, võimsus tarvet, päikesepaneelide poolt toodetud võimsust ja generaatori tööd. Läbi antud seadme on võimalik kaughaldus süsteemile läbi VRM portaali.

Automaatikaprojektis on lahendatud päikesepaneelid liigutamine vastavalt päikese tõusunurgale kasutades astronoomilist kella. Programm on koostatud Siemens S7 1215C kontrollerrisse. Antud kontrolleri külge on ühendatud üle ModBus TCP klientidena LOGO8 kontrollerrid. LOGO8 kontrollerr on kasutusel kui laiendusmoodul, mis on paigaldatud külgede lähedal asuvatesse kilpidesse. Siemens S7 kontrollerr on paigaldatud peajaotuskilpi.

Paigaldustööd viidi läbi Eesti Maaülikooli töökojas. Paigaldati kõik seadmed, koostati elektrikiilbid ja teostati kaabeldus projektis toodud mahule. Paigaldamise käigus on leitud igale süsteemi elektri-ja automaatika komponendile oma koht, ning kinnitusviis. Paigaldamisel on arvesse võetud, et päikesejaam on transporditav ja võib esineda vibratsioone. Kaabli teekond ja paigaldusviis on valitud sobilikud liikuvale jaamale.

Viimases etapis on lahti kirjutatud energiajaama esmakäivitus ja katsetamine. Katsetamise käigus on veendunud, et jaam toodab ja salvestab elektrienergiat. Ülikooli parklas läbiviidud katsetulemusena laeti elektriautot kolme faasi pealt.

Esmaste katsetuste käigus selgusid ka mõned puudused, soovitusel ja vajalikud edasiarendused mobiilse energiajaama projektis. Töö autor on analüüsinud edasiarenduse mõtteid neljandas magistriröö peatükis.

Käesolev lõputöö omab suurt praktilist väärtust, ning andnud magistriröö autorile palju uusi kogemusi ja oskuseid. Kogemused on saadud projekteerimisel. Käelised oskused on arenenud paigaldamisel. Projekt on olnud huvitav, ning ühtib roheenergia põhimõtetega. On lahendatud reaalne probleem, ning tehtud elektri-automatika alane lahendus uuenduslikule mobiilsele energiajaamale.



## SUMMARY

The master's thesis is divided into three parts. The first part is market research, the second part is design, and the third part is installation work. In the fourth stage, the power plant is tested, and the results are analyzed. In the first part, patents related to the automatic movement of the power plant and solar panels were studied, as well as mobile power plants available on the market.

Market research examined four mobile power plants on the market. None of the power plants had automatically movable solar panels. Three of the power plants studied had manually movable solar panels, and one could not be moved at all. The result of the market research is the discovery of the mass of other power plants and the power ratio from solar panels. The products available on the market are not efficient due to the high mass and low efficiency ratio.

In the design phase, the electrical and automation systems were solved. The first task was to divide the solar panels into groups. The cabling of the solar panels is solved in a series-parallel connection. The panels are divided among three charge controllers. Six solar panels are connected to the first and second charge controllers. Ten solar panels are connected to the third charge controller. When dividing the panels between the charge controllers, it was ensured that the panels behind one charge controller all face the same direction. The SmartSolar MPPT 150/70 charge controller is used.

The energy procurement system is solved with Victron Energy products. Quattro 8000/48/100 inverters are used as inverters. These are single-phase inverters, but the EAG304 project envisages a three-phase system, so three single-phase inverters are used in the project, which together produce three phases.

The inverters operate at 48 V, so batteries with the corresponding voltage are selected. LiFePO<sub>4</sub> rackable battery packs were chosen as the batteries. A total of three battery packs are used in this project, with a total capacity of 14.4 kWh. The batteries are equipped with a BMS, or battery management system.

The system communication is solved using Cerbo GX settings. The device reads information from the charge controllers, batteries, and inverters. The task of this device is to monitor the condition of the batteries, power demand, power produced by solar panels, and generator operation. Through this device, remote series system monitoring is possible via the VRM portal.

In the automation project, the movement of solar panels according to the solar elevation angle is solved using an astronomical clock. The program is compiled into a Siemens S7 1215C controller. This controller is connected to LOGO8 controllers as ModBus TCP clients. The LOGO8 controller is used as an expansion module installed in cabinets near the sides. The Siemens S7 controller is installed in the main distribution panel.

Installation work was carried out in the workshop of the Estonian University of Life Sciences. All equipment was installed, electrical cabinets were assembled, and cabling was performed according to the tasks specified in the project. During installation, a place and fastening method were found for each system's electrical and automation components. It was taken into account that the solar station is transportable and may experience vibrations. The cable route and installation method were chosen suitable for the mobile station.

In the final stage, the commissioning and testing of the power plant are described. During testing, it was ensured that the station produces and stores electricity. As a result of the tests conducted in the university parking lot, an electric car was charged from three phases. During the initial tests, some shortcomings, recommendations, and necessary further developments in the mobile power plant project were identified. The author of the work has analyzed development ideas in the fourth chapter of the master's thesis.

This thesis has significant practical value and has provided the author of the master's thesis with many new experiences and skills. Experience has been gained in design. Manual skills have developed during installation. The project has been interesting and is consistent with the principles of green energy. A real problem has been solved, and an electrical automation solution has been made for an innovative mobile power plant.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Solar Power Platform Capable of Charging During Transport" - Google Patents, <https://patents.google.com/patent/US20140285005> (09.12.2023)
- [2] „Single Axis Solar Tracker And Operating Method There" – Espacenet Patents, <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/073642810/publication/EP4002685A1?q=pn%3DEP4002685A1> (09.12.2023)
- [3] „Method for controlling the orientation of a solar tracker based on cartographic models" – Google Patents, <https://patents.google.com/patent/EP3657294B1/en> (09.12.2023)
- [4] „Mobile Station" – Espacenet Patents, <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/088698468/publication/US2023369869A1?q=pn%3DUS2023369869A1> (09.12.2023)
- [5] Mobile Solar Power Station -The Solar Sentry Trailer, <https://specializedsolarsystems.co.za/product-catalogue/mobile/solar-sentry-trailer/> (09.12.2023)
- [6] Biglux Solar Trailer, <https://www.bigluxled.com/mobile-solar-power/mobile-solar-power-trailer-for-device-charge.html> (09.12.2023)
- [7] RPS Solar pumps, <https://shop.rpsolarspumps.com/products/off-grid-power-plant-solar-battery-diesel-backup-trailer> (09.12.2023)
- [8] OK Solar, <https://www.oksolar.com/lion/item/000777000/solar-trailer> (09.12.2023)
- [9] Autonomous movable power station, <https://www.etis.ee:2443/Portal/Projects/Display/4b8fcdc5-b878-4ee5-bf4a-b22140712ea0> (04.01.2024)
- [10] Kultuurmarjade täppisvæetustehnoloogia väljatöötamine, <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e6ac07e2-c0b6-4b5b-aacb-784fc5607c31> (04.01.2024)
- [11] Standard EVS-EN IEC 81346-2:2022, <https://www.evs.ee/et/evs-en-iec-81346-1-2022> (04.01.2024)
- [12] Päikesepaneelid, <https://www.sunman-energy.com/ZommonImgs/ModulesImgs/2209071140311818.pdf> (10.01.2024)
- [13] Lynx Distribution, <https://www.victronenergy.com/dc-distribution-systems/lynx-distributor> (10.01.2024)
- [14] Cerbo-GX, <https://www.victronenergy.com/communication-centres/cerbo-gx> (10.01.2024)
- [15] Generaator, <https://www.greengearglobal.com/product/lpg-propane-power-generator-ge-7000t/> (10.01.2024)

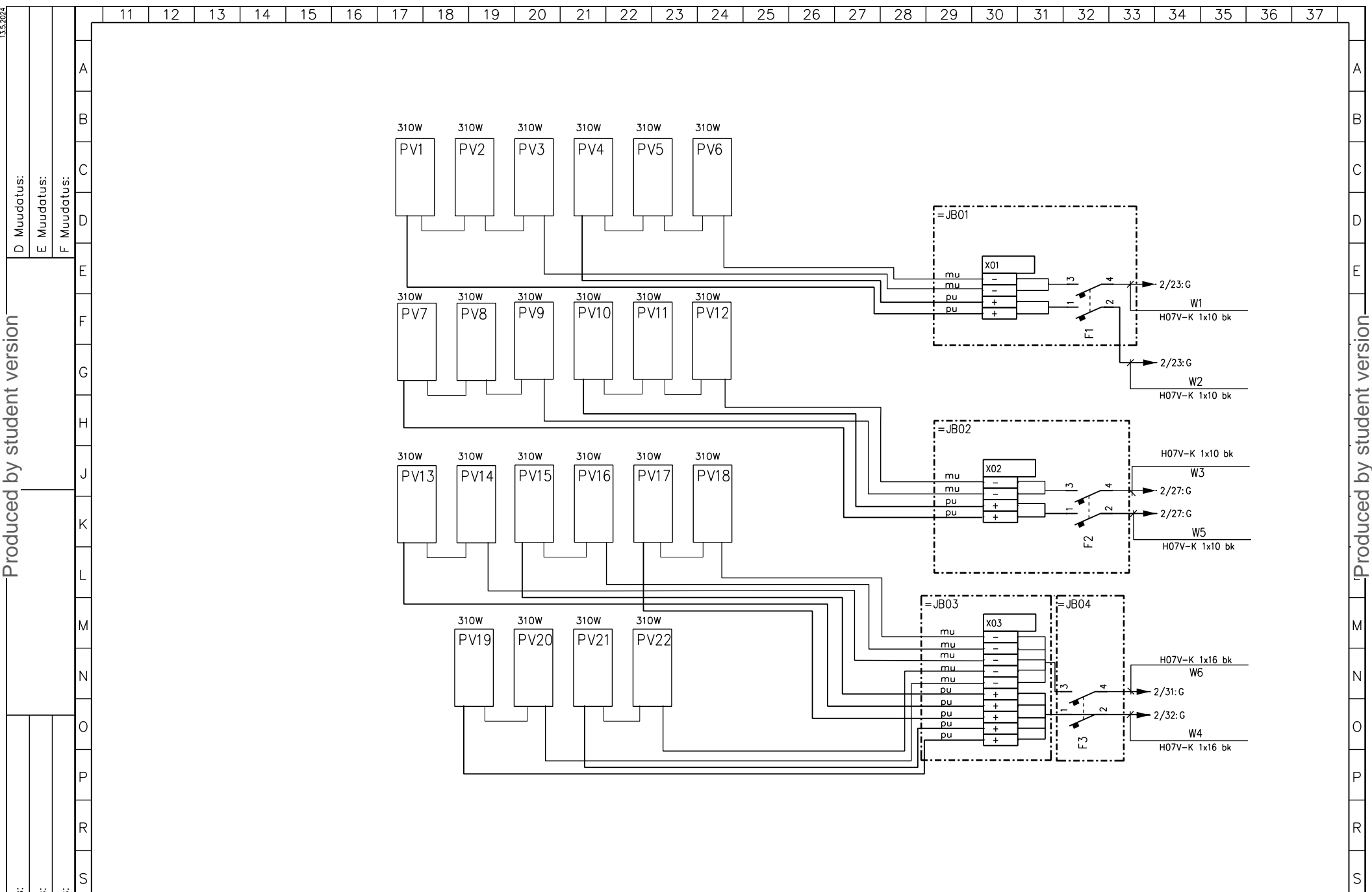
- [16] Lineaarajam, <https://cdn.linak.com/-/media/files/data-sheet-source/en/linear-actuator-la36-data-sheet-eng.pdf> (10.01.2024)
- [17] Toiteplokki MeanWell SDR 480-24, <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-industrial-din-rail-power-supply-output-sdr--480--24> (16.01.2024)
- [18] MPPT ja PWM võrdlus, <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Technical-Information-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf> (18.01.2024)
- [19] Laadimiskontroller MPPT 150/70, <https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/smartsolar-mppt-ve.can> (20.01.2024)
- [20] Inverter Quattro 8000/48/100, <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-EN.pdf> (20.01.2024)
- [21] Akud, <https://www.lifepo4-battery.com/News/51v-100ah-lifepo4-battery-ess-to-estonia.html> (20.01.2024)
- [22] Kaablid H01N2-D, <https://www.nexans.nl/en/products/Flexible-cables/Other-flexible/H01N2-D-we5030.html> (10.02.2024)
- [23] H07V-K (MKEM) 10 must juhe, <https://www.weg.ee/h07v-k-mkem-10-must-juhe-100m-118399> (12.02.2024)
- [24] H07V-K (MKEM) 16 must juhe, <https://www.weg.ee/h07v-k-mkem-16-must-juhe-100m-118405> (12.02.2024)
- [25] Elektriautolaadija, <https://www.victronenergy.com/ev-charging/ev-charging-station> (13.02.2024)
- [26] Kaablid H07RN-F, <https://www.nexans.fr/en/products/Building/Industrial/Flexibles-cables/H07RN-F-4943.html> (15.02.2024)
- [27] Kaitselüliti 2P B25, <https://www.weg.ee/s202-b25-k-kaitseluliti-2p-b-25a-6ka-868145> (22.02.2024)
- [28] Kaitselüliti 2P B63, <https://www.weg.ee/s202m-b63-kaitseluliti-2p-b-63a-10ka-867672> (22.02.2024)
- [29] Jõulüliti 48 V, <https://www.victronenergy.com/dc-distribution-systems/battery-switch-on-off> (24.02.2024)
- [30] MEGA-sularid, <https://www.littelfuse.com/products/fuses/automotive-passenger-car/high-current-fuses/mega-60v-high-breaking-capacity.aspx> (01.03.2024)
- [31] Kaitselüliti 1P B6, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b6-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)
- [32] Kaitselüliti 1P B4, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b4-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)

- [33] Kaitselüliti 3P B32, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-3p-b32-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)
- [34] Kaitselüliti 1P B32, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b32-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)
- [35] Kaitselüliti 1P B16, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b16-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)
- [36] Kaitselüliti 3P B63, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-3p-b63-a-6ka-ex9bn-noark> (15.03.2024)
- [37] Rikkevoolukaitse 4P B63, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/rikkevoolukaitse-4p63a-a-30ma-6ka-eu-ex9ln-noark> (15.03.2024)
- [38] Kaitselüliti 2P B20, <https://www.weg.ee/s802s-b20-kaitseluliti-2p-b-20a-50ka-869441> (17.03.2024)
- [39] Kaitselüliti 2P B16, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-2p-b16-a-6ka-ex9bn-noark> (17.03.2024)
- [40] Kaitselüliti 1P B20, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b20-a-6ka-ex9bn-noark> (17.03.2024)
- [41] Kaitselüliti 1P B16, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b16-a-6ka-ex9bn-noark> (17.03.2024)
- [42] LOGO8 andmeleht, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82564/v1/Logo\\_e.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82564/v1/Logo_e.pdf) (17.03.2024)
- [43] Kaitselüliti 1P B2, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-1p-b2-a-6ka-ex9bn-noark> (17.03.2024)
- [44] Kaitselüliti 3P B16, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/kaitseluliti-3p-b16-a-6ka-ex9bn-noark> (17.03.2024)
- [45] Potensiaaliühtlustus, [https://web.archive.org/web/20170930132008/http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar\\_4.Madalpingevorgud.4.2\\_Maandamine.4.3\\_Potuhltlustus.Konspekt2014kevad.pdf](https://web.archive.org/web/20170930132008/http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar_4.Madalpingevorgud.4.2_Maandamine.4.3_Potuhltlustus.Konspekt2014kevad.pdf) (25.03.2024)
- [46] Siemens S7, <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7215-1AG40-0XB0> (28.03.2024)
- [47] Switch 8-porti, [https://us.dahuasecurity.com/wp-content/uploads/2022/12/Datasheet\\_DH-PFS4210-8GT-DP\\_Final.pdf](https://us.dahuasecurity.com/wp-content/uploads/2022/12/Datasheet_DH-PFS4210-8GT-DP_Final.pdf) (28.03.2024)
- [48] Cat 5e kaabel, <https://www.dnssystem.eu/et/cables/65-400103.html> (28.03.2024)

- [49] Teekonnalülitid, <https://www.weg.ee/xckn2102p20-teekonnaluliti-plastkorpus-surutav-plastikrull-11mm-labibiik-m20-110375> (02.04.2024)
- [50] Kaabel 2x0,5, <https://www.weg.ee/flex-oz-2x0-5-kontrollkaabel-500-1000-trummel-118145> (02.04.2024)
- [51] Avariistopp nupud, <https://pood.esvika.ee/kilbidkapidkomponendid/cepy12001-avariistop-punane-keerates-tagastuv-o40mm-karbis-kollane-kaitsekrae-2nc-abb> (02.04.2024)
- [52] Deklinatsiooninurga arvutamine, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/declination-angle> (05.04.2024)
- [53] Päikese tunninurk, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-time> (05.04.2024)
- [54] Päikese tõusunurk, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/elevation-angle> (05.04.2024)
- [55] LGF raamatukogu, [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479728/library-of-general-functions-\(lgf\)-for-simatic-step-7-\(tia-portal\)-and-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479728/library-of-general-functions-(lgf)-for-simatic-step-7-(tia-portal)-and-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-WW) (08.04.2024)
- [56] Tartu kõrgus ja laiuskraad, <https://www.latlong.net/place/tartu-est-16353.html> (08.04.2024)
- [57] VE.Can to CAN-Bus BMS kaabli manuaal, [https://www.victronenergy.com/live/battery\\_compatibility:can-bus\\_bms-cable](https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:can-bus_bms-cable) (10.04.2024)
- [58] Liideskaabel MK3-USB, <https://www.victronenergy.com/accessories/interface-mk3-usb> (10.04.2024)
- [59] Kaabel H07v-k 6, <https://www.weg.ee/h07v-k-mkem-6-must-juhe-100m-118396> (16.04.2024)
- [60] Polüretaankarp, <https://www.elit.ee/et/product@CA-43s.html> (16.04.2024)
- [61] Paigaldusplaat, <https://www.elit.ee/et/product@PP-43.html> (16.04.2024)
- [62] Peajaotuskilp, <https://www.elit.ee/et/product@EC060825X.html> (16.04.2024)
- [63] Toiteplokk HDR-150-24, <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-ultra-slim-din-rail-power-supply-input-range-hdr--150--24> (16.04.2024)
- [64] Toiteplokk HDR-150-48, <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-ultra-slim-din-rail-power-supply-input-range-hdr--150--48> (16.04.2024)

# LISAD

## *Lisa 1 Elektriskeemid*



Produced by student version

Produced by student version

13.5.2024
D Muudatus:
E Muudatus:
F Muudatus:
A Muudatus:
B Muudatus:
C Muudatus:

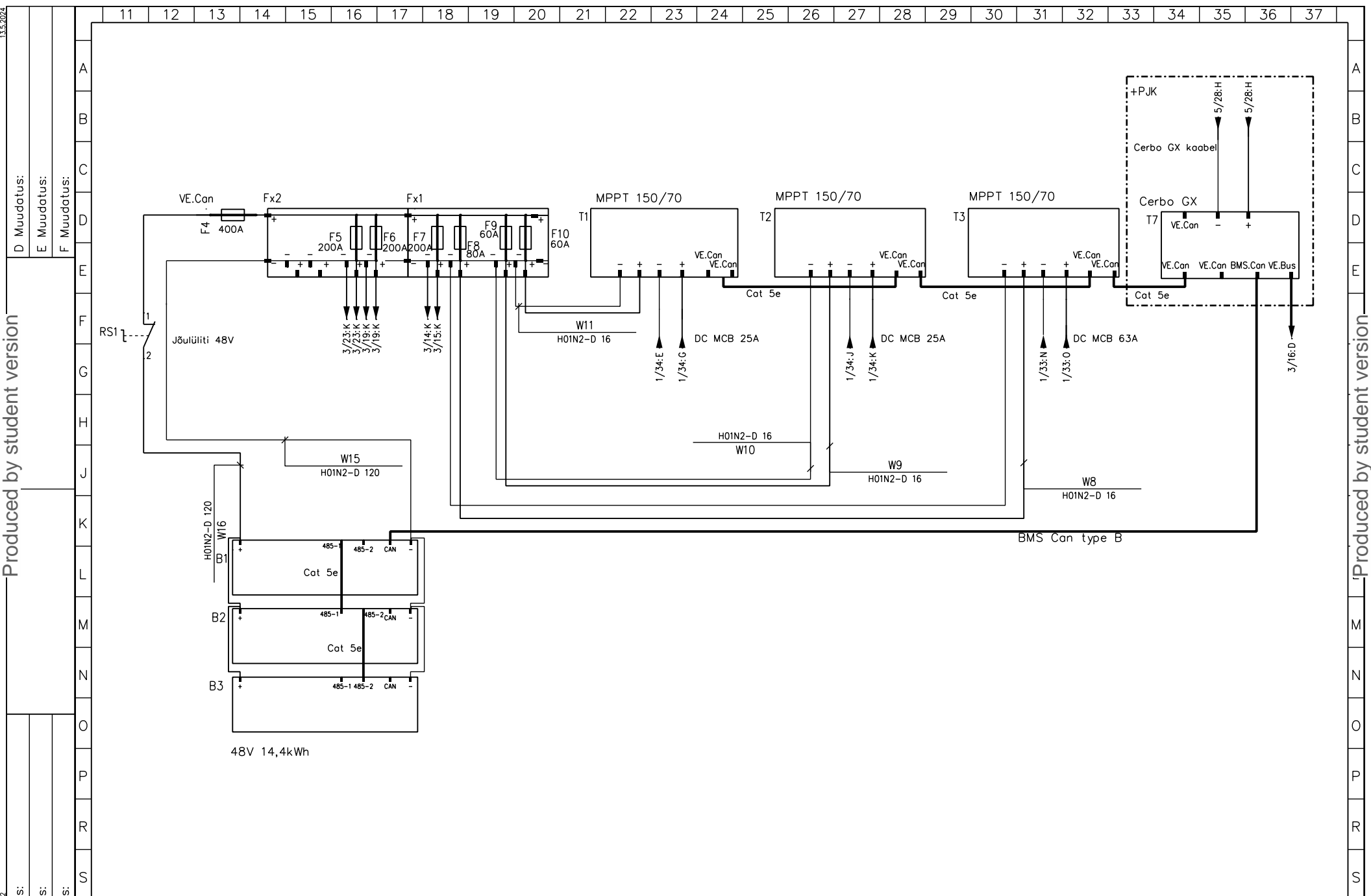
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
A																											A
B																											B
C																											C
D																											D
E																											E
F																											F
G																											G
H																											H
J																											J
K																											K
L																											L
M																											M
N																											N
O																											O
P																											P
R																											R
S																											S

Mittestatsionaarne energiajaam

Päikesepaneelide ühendusskeem

Projekteeris KK /10/05/2024	Ahela nr.	Keskuse nr.	186 nr. E001
Kontrollis 10/05/2024	Leht 1/17	Joonise nr.	
Kinnitas 10/05/2024		1	

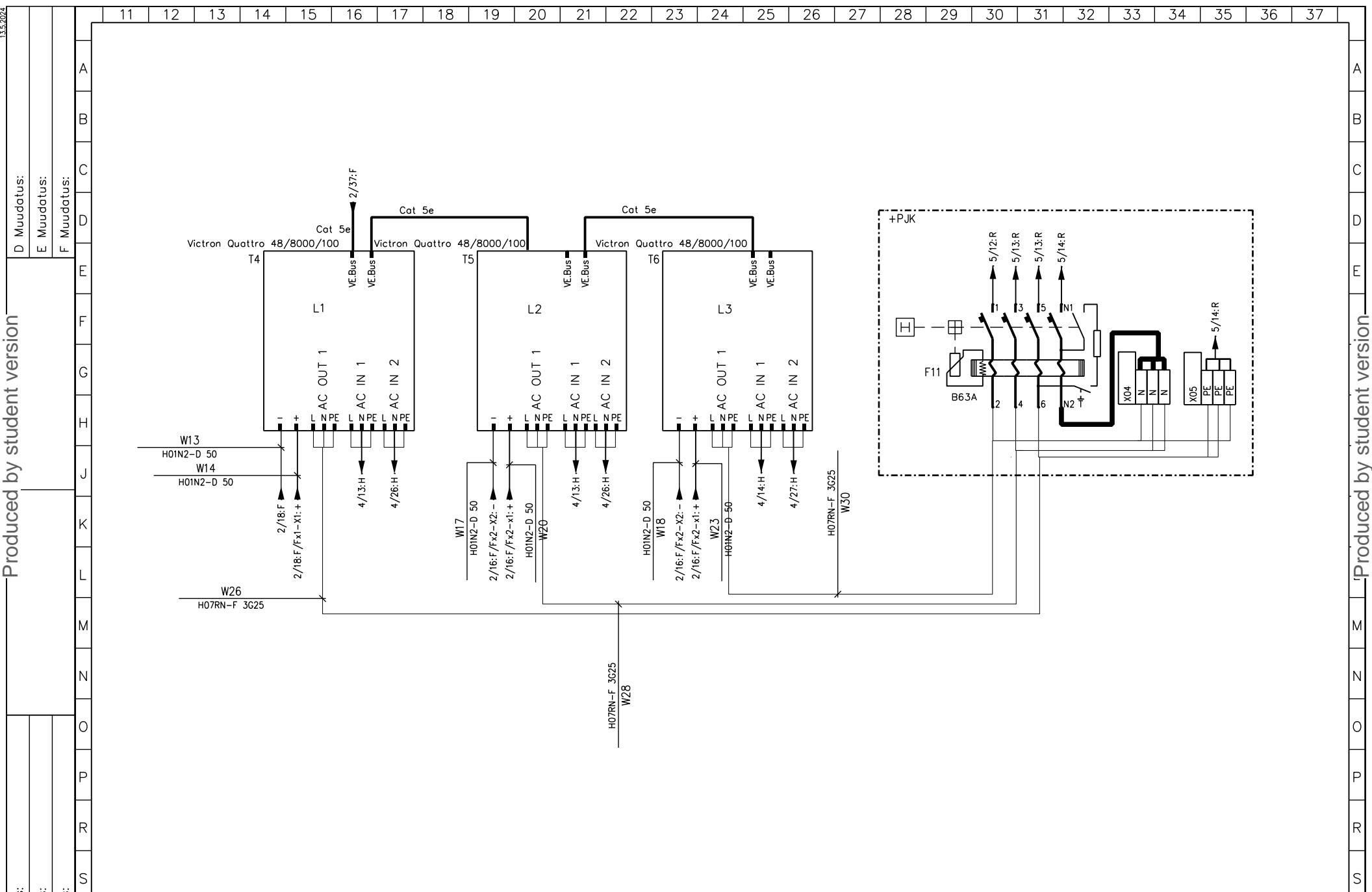




Produced by student version

Produced by student version

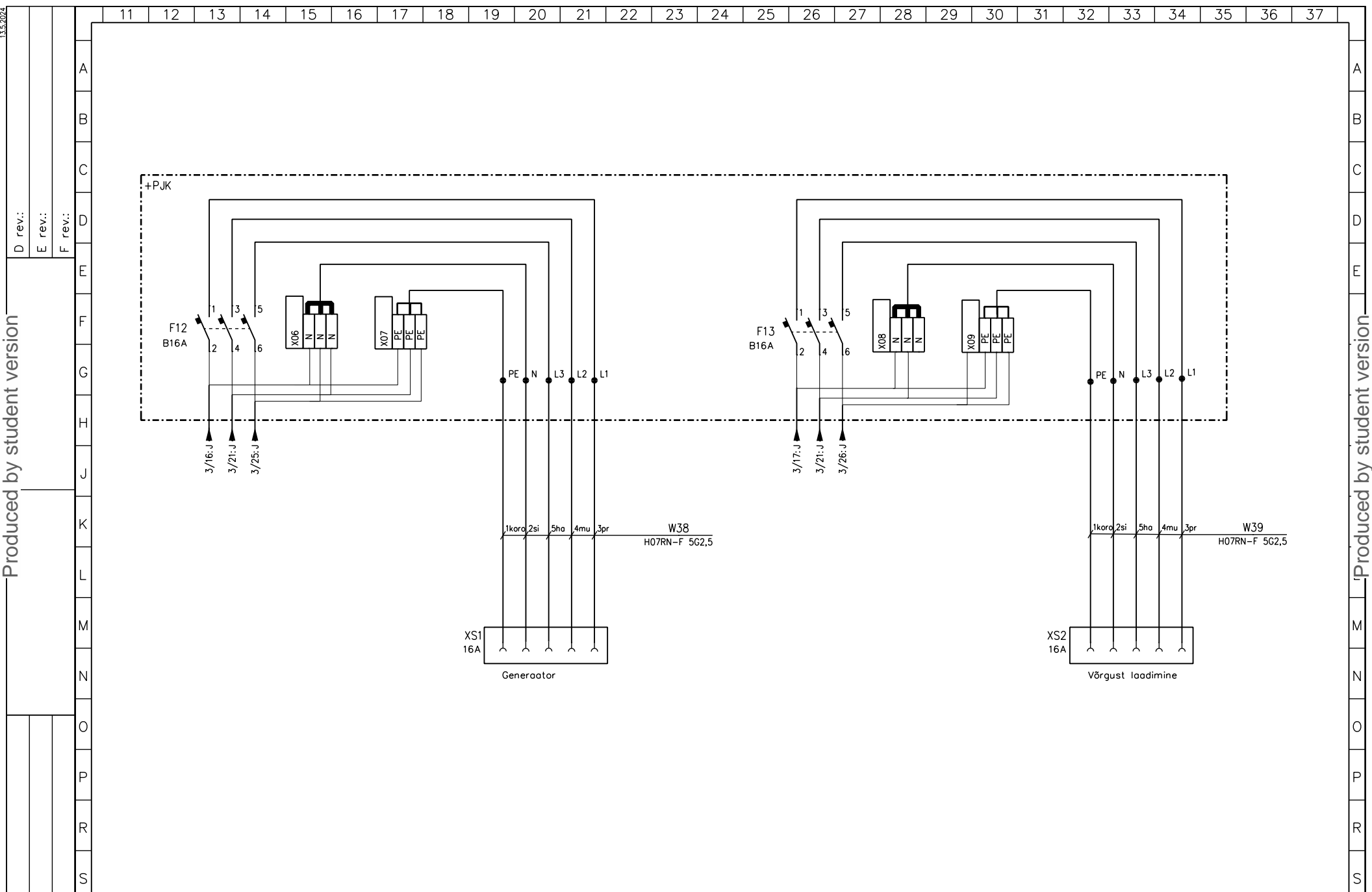
A Muudatus:	Mittestatsionaarne energiajaam	Seadmete ühendusskeem 1	Projekteeris KK /10/05/2024	Ahela nr.	Keskuse nr.	186 nr. E001
B Muudatus:			Kontrollis 10/05/2024	Leht 2 / 17	Joonise nr.	
C Muudatus:			Kinnitas 10/05/2024		2	



Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:	Mittestatsionaarne energiajaam	Seadmete ühendusskeem 2	Projekteeris KK /10/05/2024 Kontrollis 10/05/2024 Kinnitas 10/05/2024	Ahela nr. Leht 3 / 17	Keskuse nr. Joonise nr.	166 nr. E001	3
B Muudatus:							
C Muudatus:							



D rev.:  
E rev.:  
F rev.:

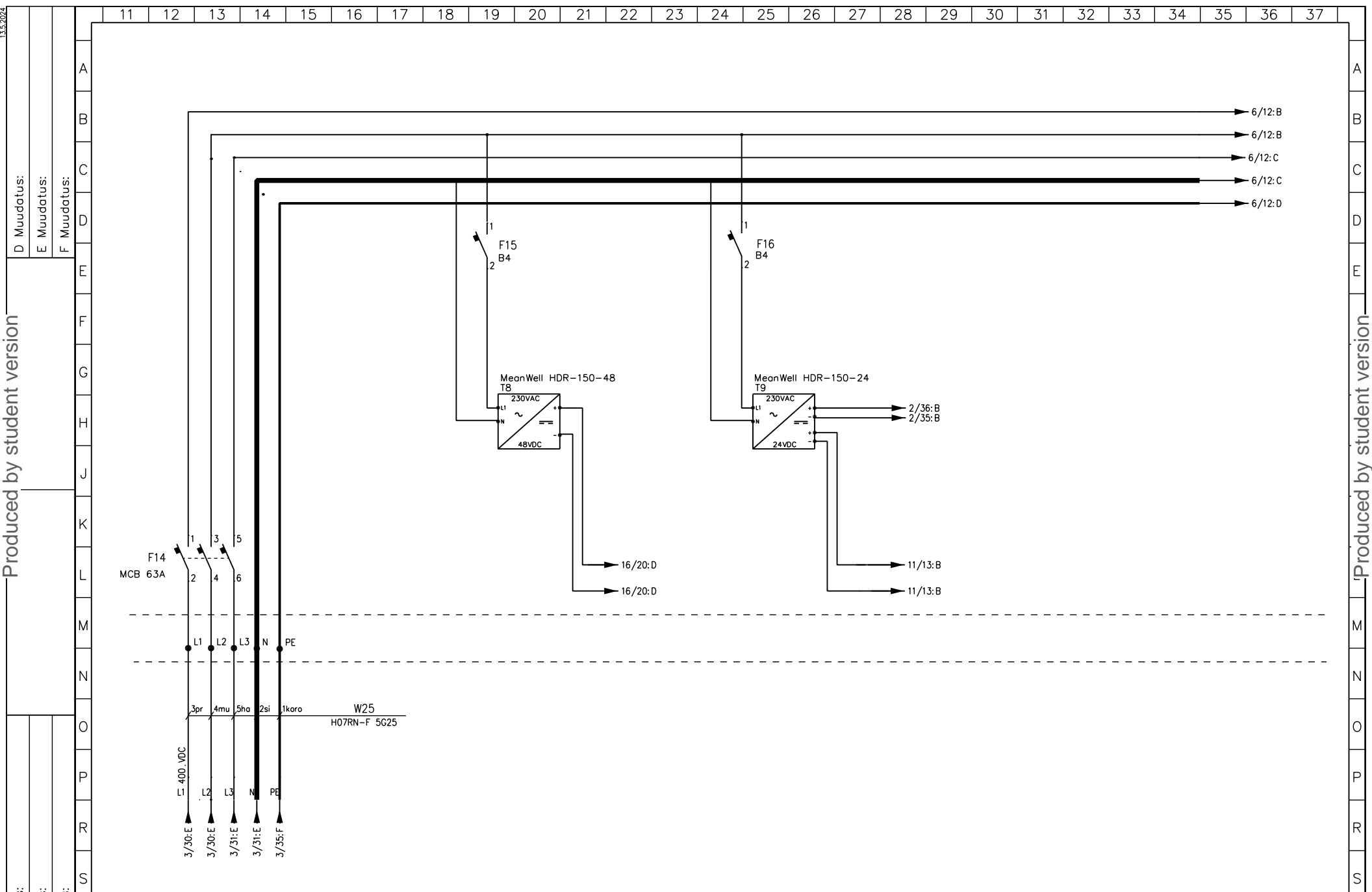
Produced by student version

A rev.:  
B rev.:  
C rev.:

Mittestatsionaarne energiajaam

Inverteri sisendid

Plan. KK /10/05/2024	Object ID	Electrical position	Job no. E001
Draw. 10/05/2024	Sheet 4 / 17	Drawing no. 4	
Check 10/05/2024			

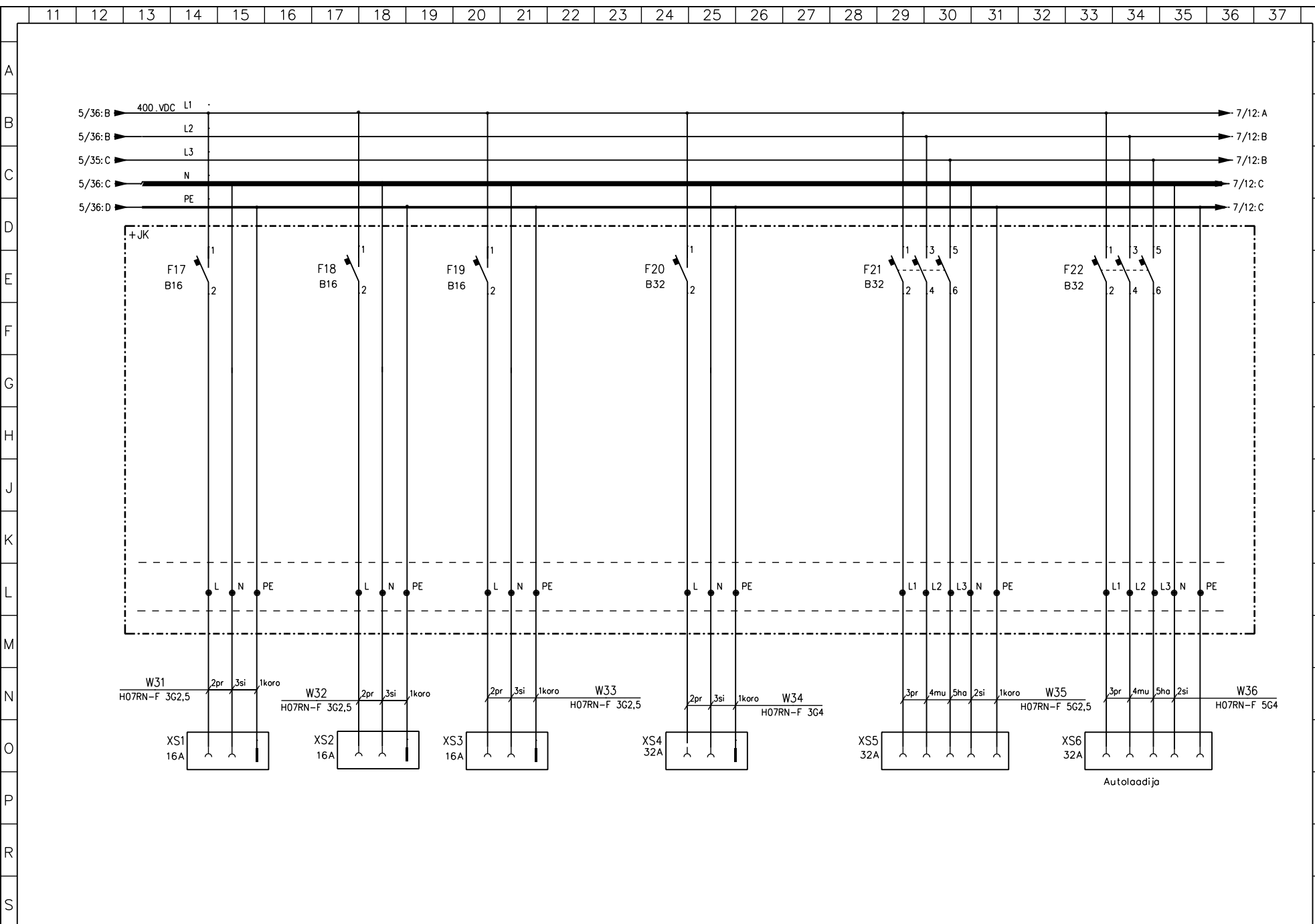


Produced by student version

Produced by student version

A Muudatus:		Mittestatsionaarne energiajaam		Toiteplokid peakilbis		Projekteeris KK /10/05/2024		Ahela nr.		Keskuse nr.		186 nr. E001	
B Muudatus:						Kontrollis 10/05/2024		Leht 5 / 17		Joonise nr.		5	
C Muudatus:						Kinnitas 10/05/2024							

13.5.2024  
 D Muudatus:  
 E Muudatus:  
 F Muudatus:  
 A Muudatus:  
 B Muudatus:  
 C Muudatus:



Produced by student version

Mittestatsionaarne energiajaam

Pistikupesad

Projekteeris  
 KK /10/05/2024  
 Kontrollis  
 10/05/2024  
 Kinnitas  
 10/05/2024

Ahela nr.  
 Leht  
 6 / 17

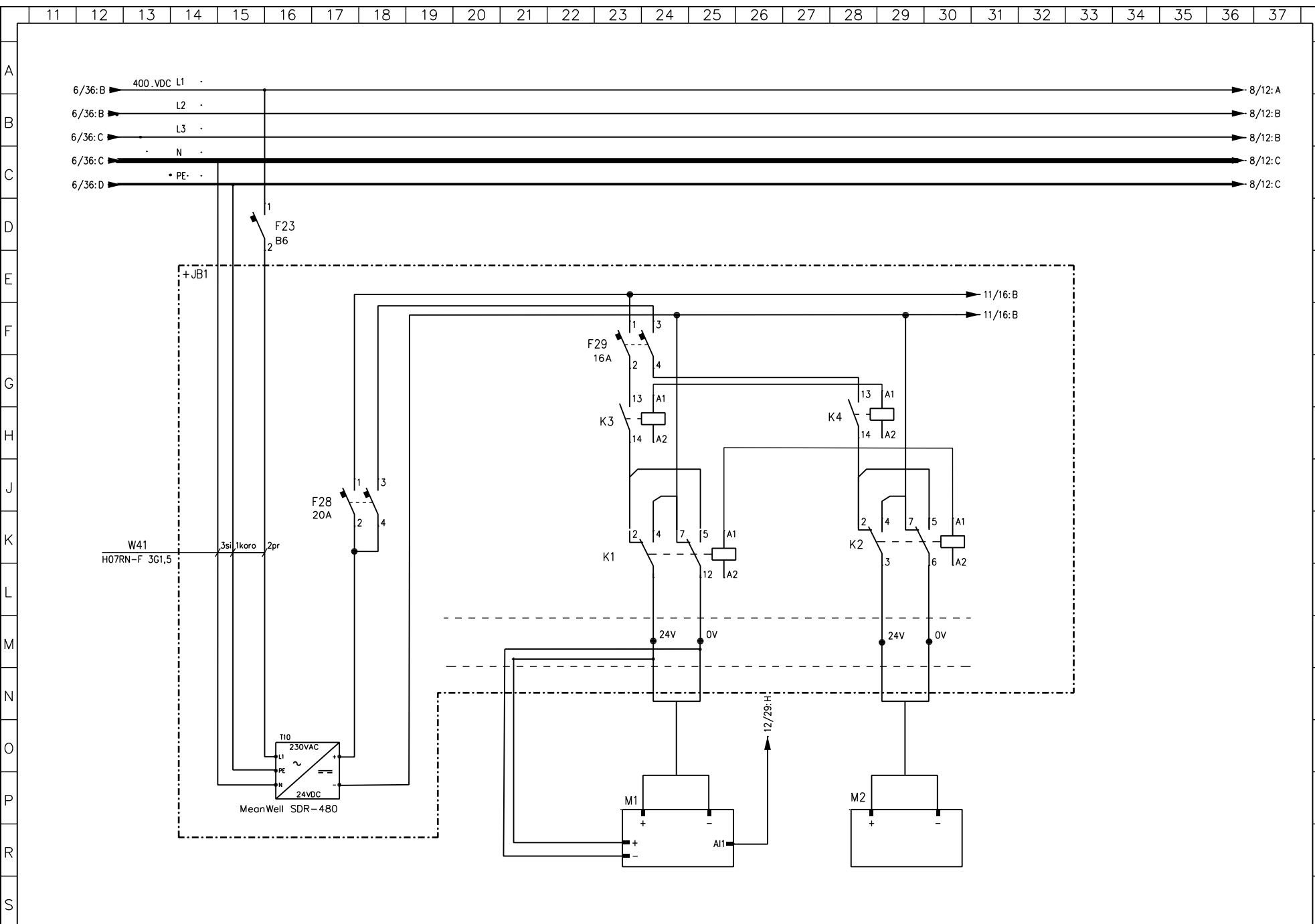
Keskuse nr.

Joonise nr.

6

166 nr.  
 E001

13.5.2024  
 A Muudatus:  
 B Muudatus:  
 C Muudatus:  
 D Muudatus:  
 E Muudatus:  
 F Muudatus:  
 G Muudatus:  
 H Muudatus:  
 J Muudatus:  
 K Muudatus:  
 L Muudatus:  
 M Muudatus:  
 N Muudatus:  
 O Muudatus:  
 P Muudatus:  
 R Muudatus:  
 S Muudatus:  
 Produced by student version  
 Produced by student version  
 Produced by student version

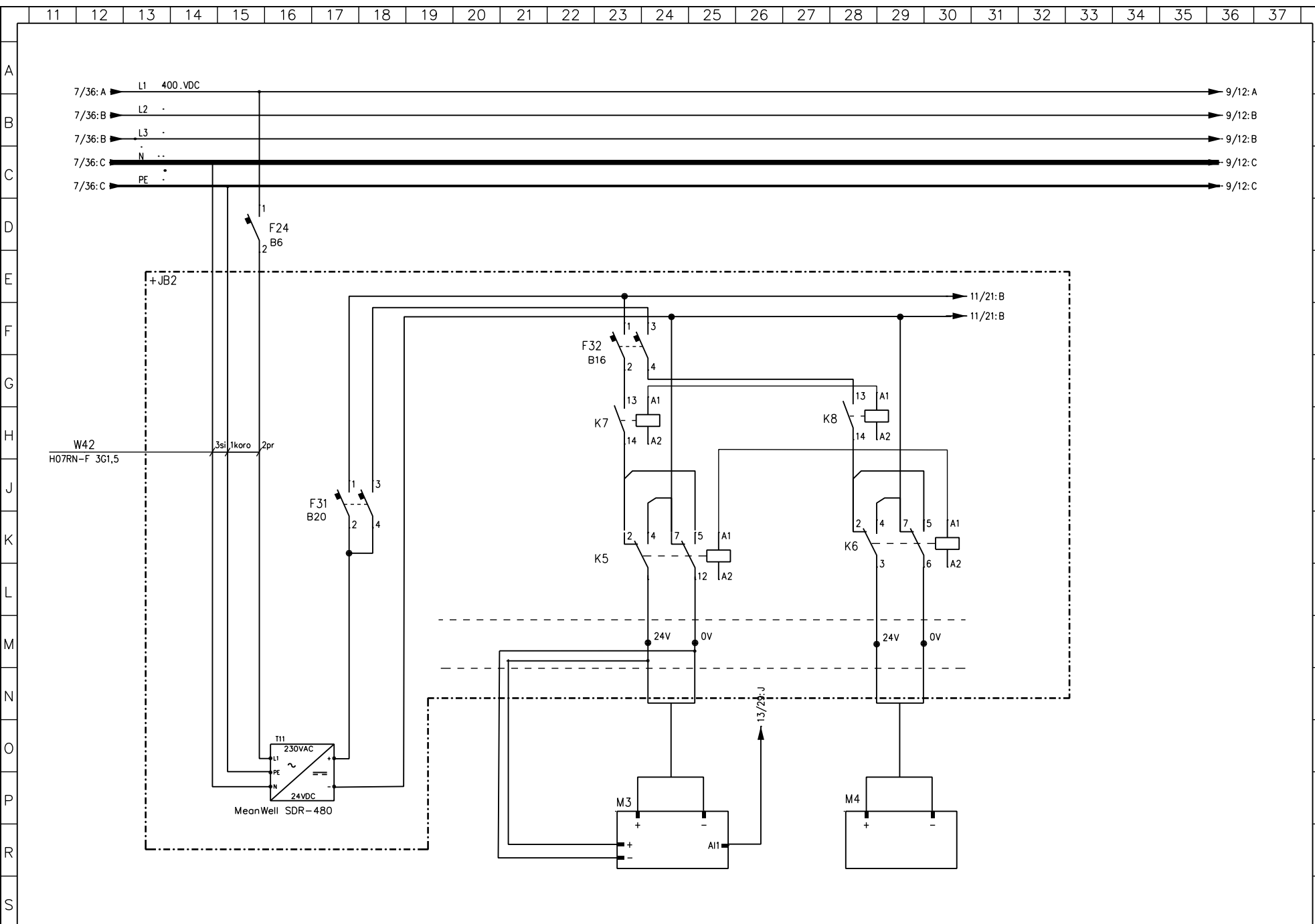


Mittestatsionaarne energiajaam

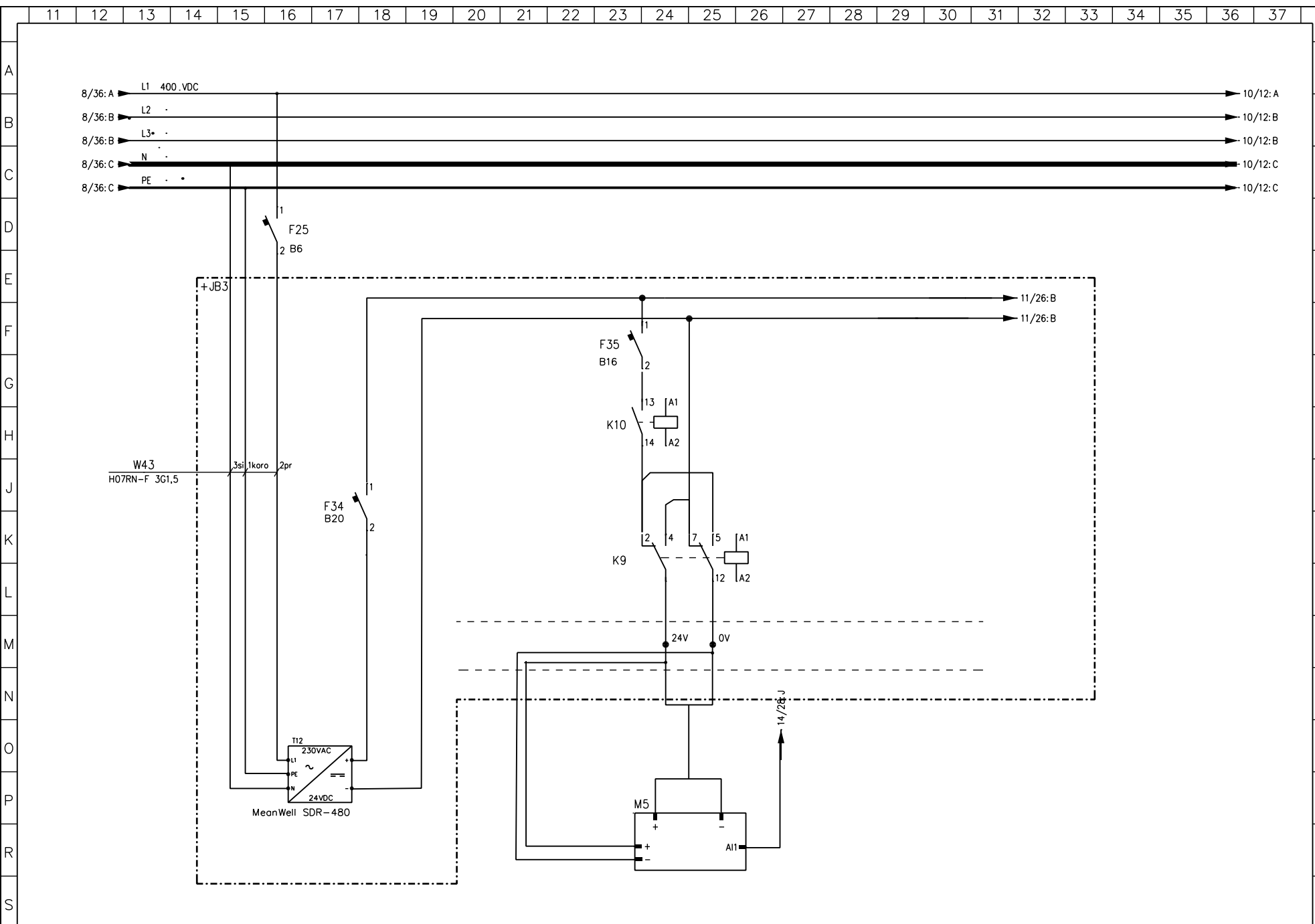
Ajamite toiteskeem, kül 1

Projekteeris KK /10/05/2024	Ahela nr.	Keskuse nr.	186 nr. E001
Kontrollis 10/05/2024	Leht 7 / 17	Joonise nr.	
Kinnitas 10/05/2024			7

13.5.2024  
 A rev.:  
 B rev.:  
 C rev.:  
 D rev.:  
 E rev.:  
 F rev.:  
 Produced by student version  
 Produced by student version



13.5.2024  
A rev.:  
B rev.:  
C rev.:  
D rev.:  
E rev.:  
F rev.:  
Produced by student version



A rev.:  
B rev.:  
C rev.:  
Produced by student version

Mittestatsionaarne energiajaam

Ajamite toiteskeem, külg 3

Plan. KK /10/05/2024  
Draw. 10/05/2024  
Check 10/05/2024

Object ID  
Sheet 9/17

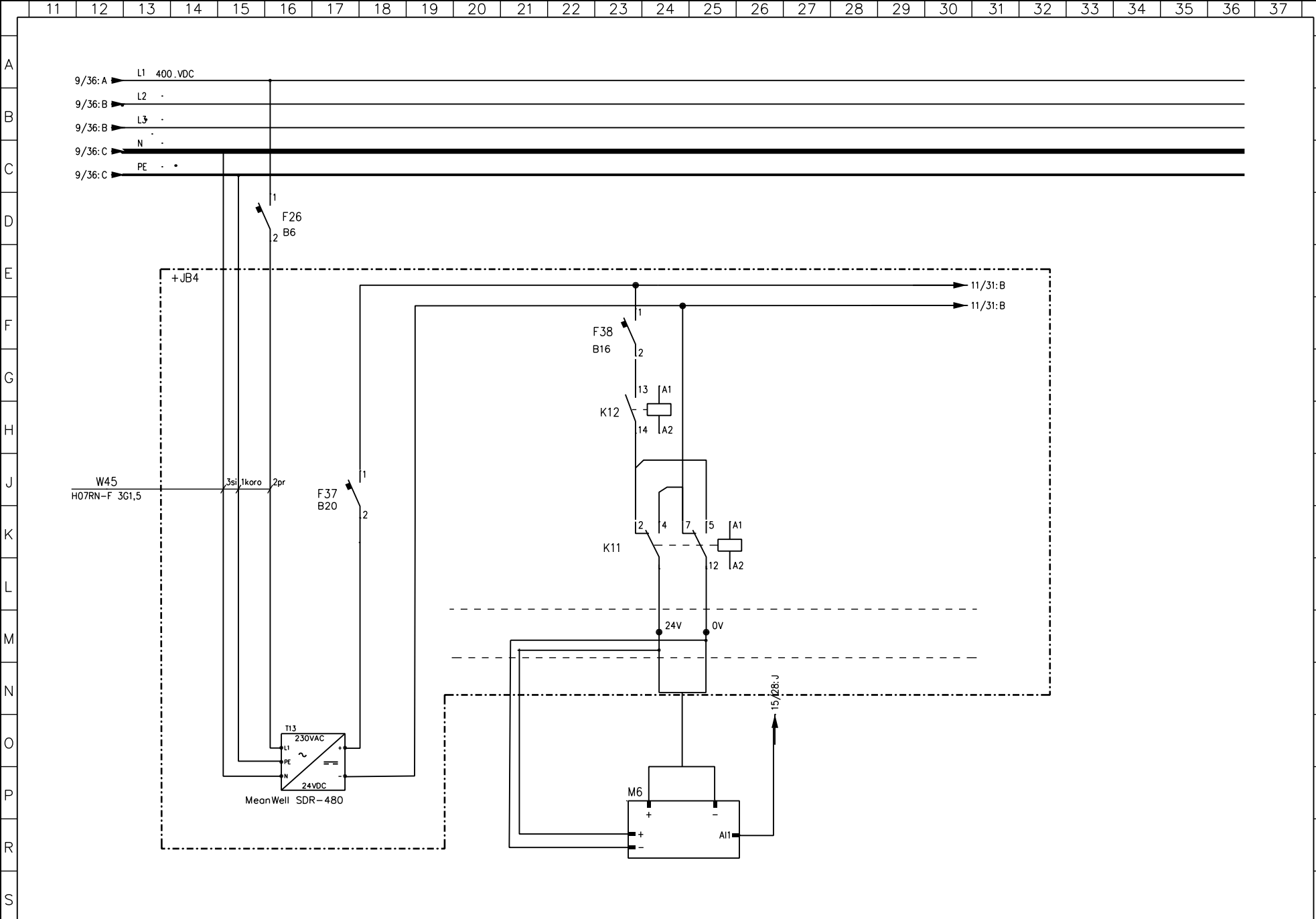
Drawing no.

Electrical position

Job no. E001



13.5.2024  
Produced by student version  
Produced by student version



D rev.:  
E rev.:  
F rev.:

A rev.:  
B rev.:  
C rev.:

Mittestatsionaarne energiajaam

Ajamite toiteskeem, külg 4

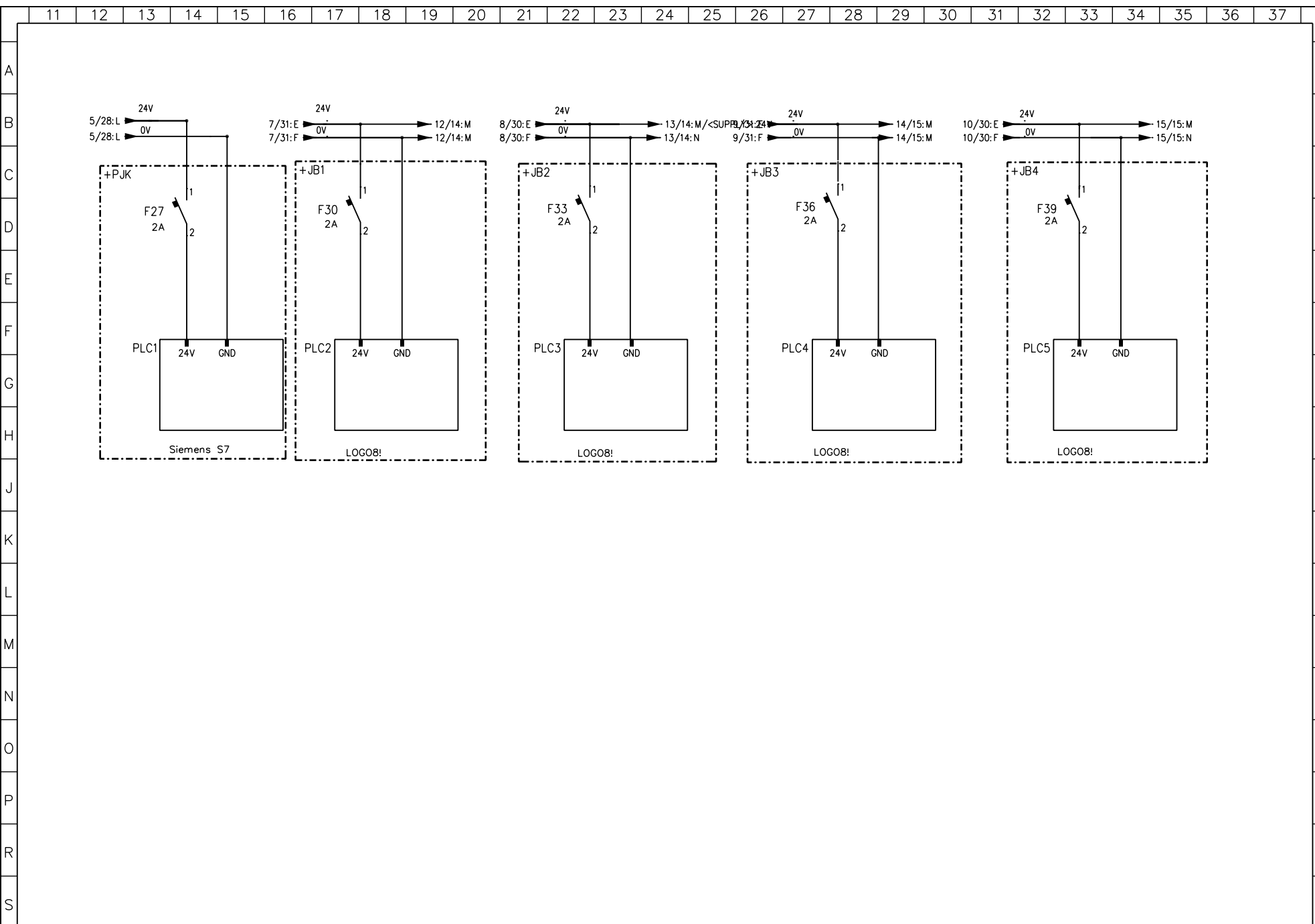
Plan. KK /10/05/2024  
Draw. 10/05/2024  
Check 10/05/2024

Object ID  
Sheet 10 / 17

Electrical position  
Job no. E001

Drawing no. 10

13.5.2024  
 D Muudatus:  
 E Muudatus:  
 F Muudatus:  
 A Muudatus:  
 B Muudatus:  
 C Muudatus:



Mittestatsionaarne energiajaam

PLC toide

Projekteeris  
 KK /10/05/2024  
 Kontrollis  
 10/05/2024  
 Kinnitas  
 10/05/2024

Ahela nr.  
 Leht  
 11/17

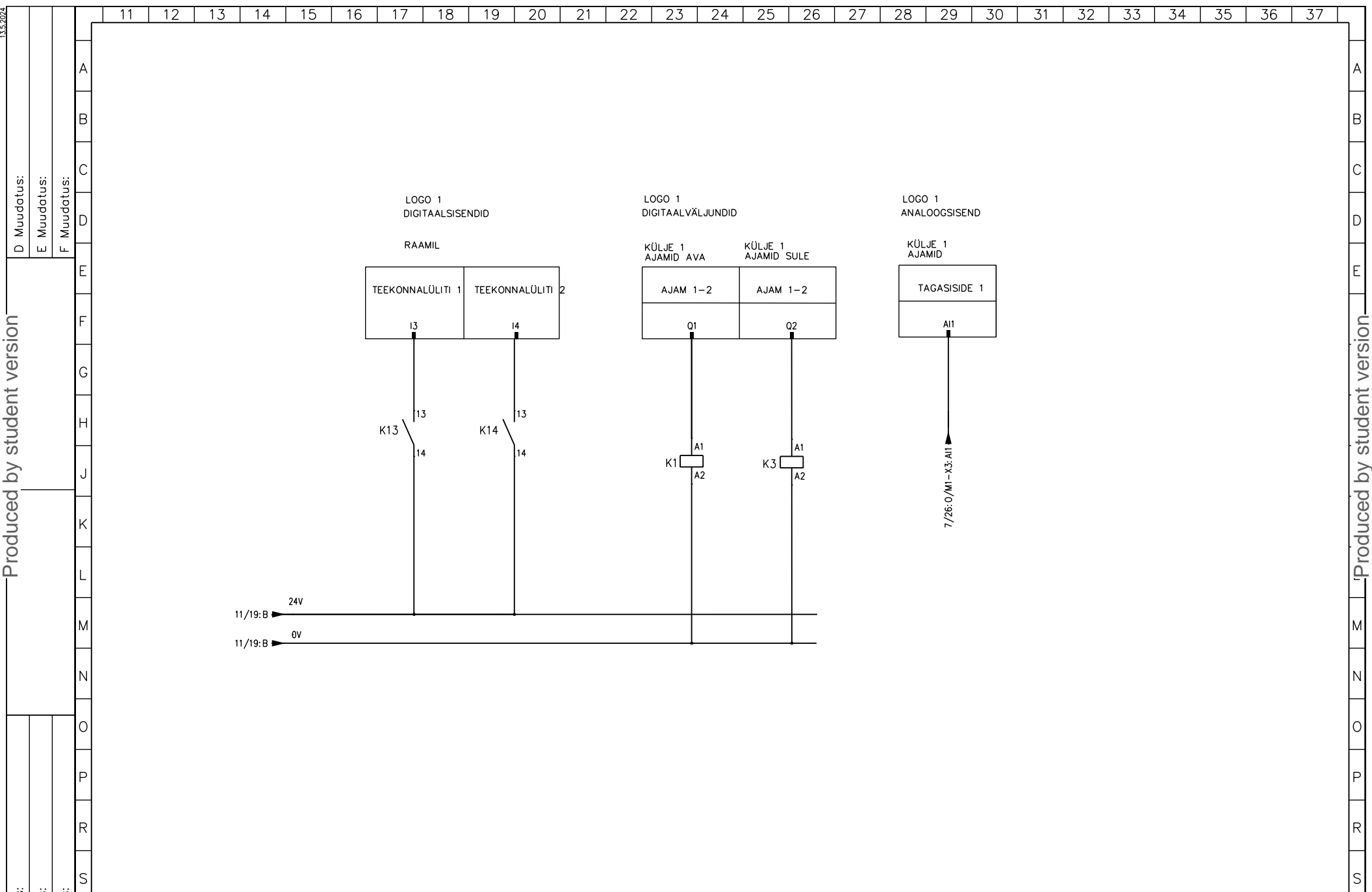
Joonise nr.

Keskuse nr.

166 nr.  
 E001

Produced by student version

Produced by student version

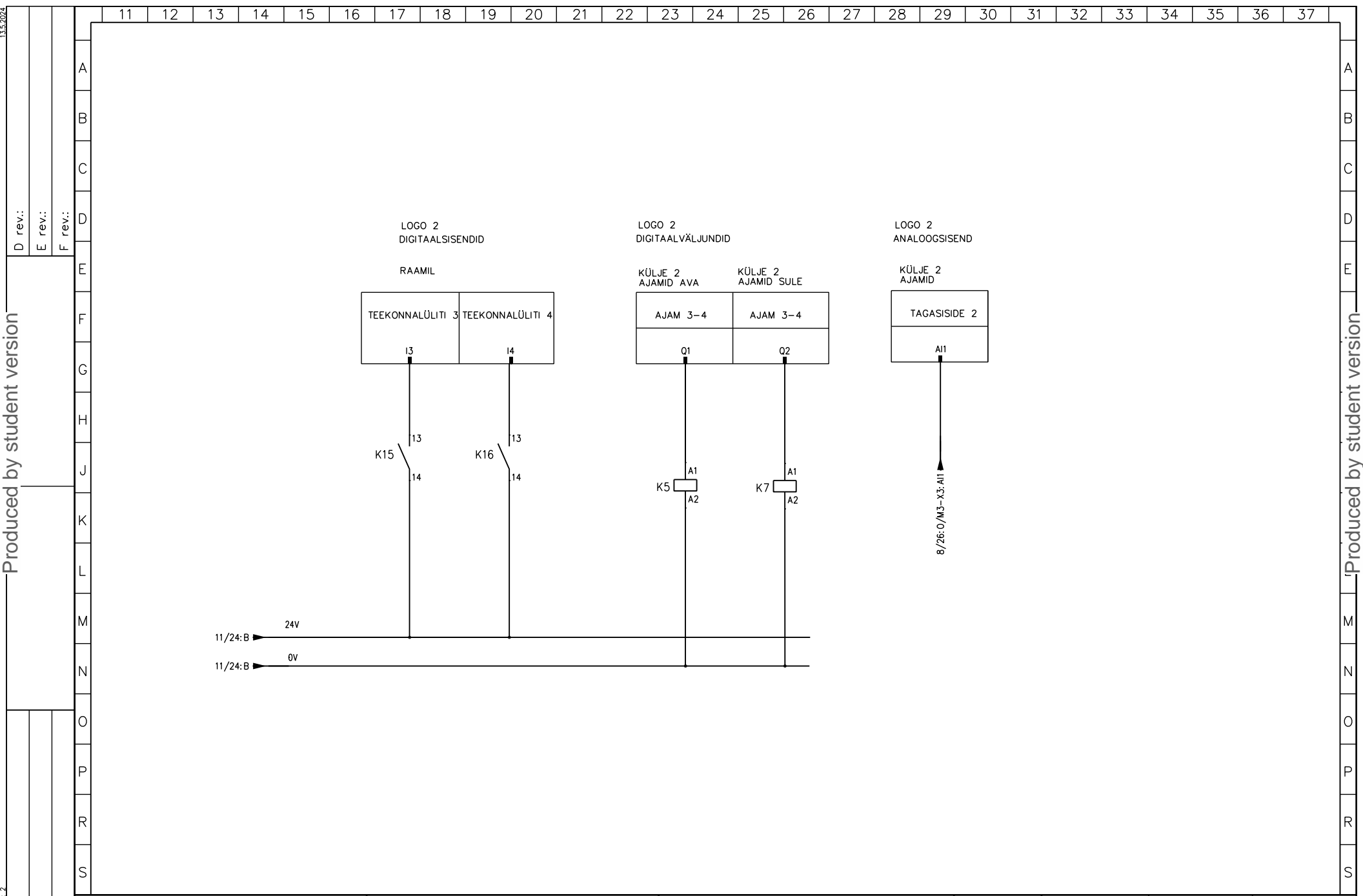


Produced by student version

Produced by student version

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S											
D Muudatus:	E Muudatus:	F Muudatus:																									
A Muudatus:	B Muudatus:	C Muudatus:																									

Mittestatsionaarne energiajaam		LOGO8 nr 1 sisend/väljundid		Projekteeris KK /10/05/2024	Ahela nr.	Keskuse nr.	Töö nr. E001
				Kontrollis 10/05/2024	Leht 12 / 17	Joonise nr.	
				Kinnitas 10/05/2024	12		



D rev.:  
E rev.:  
F rev.:

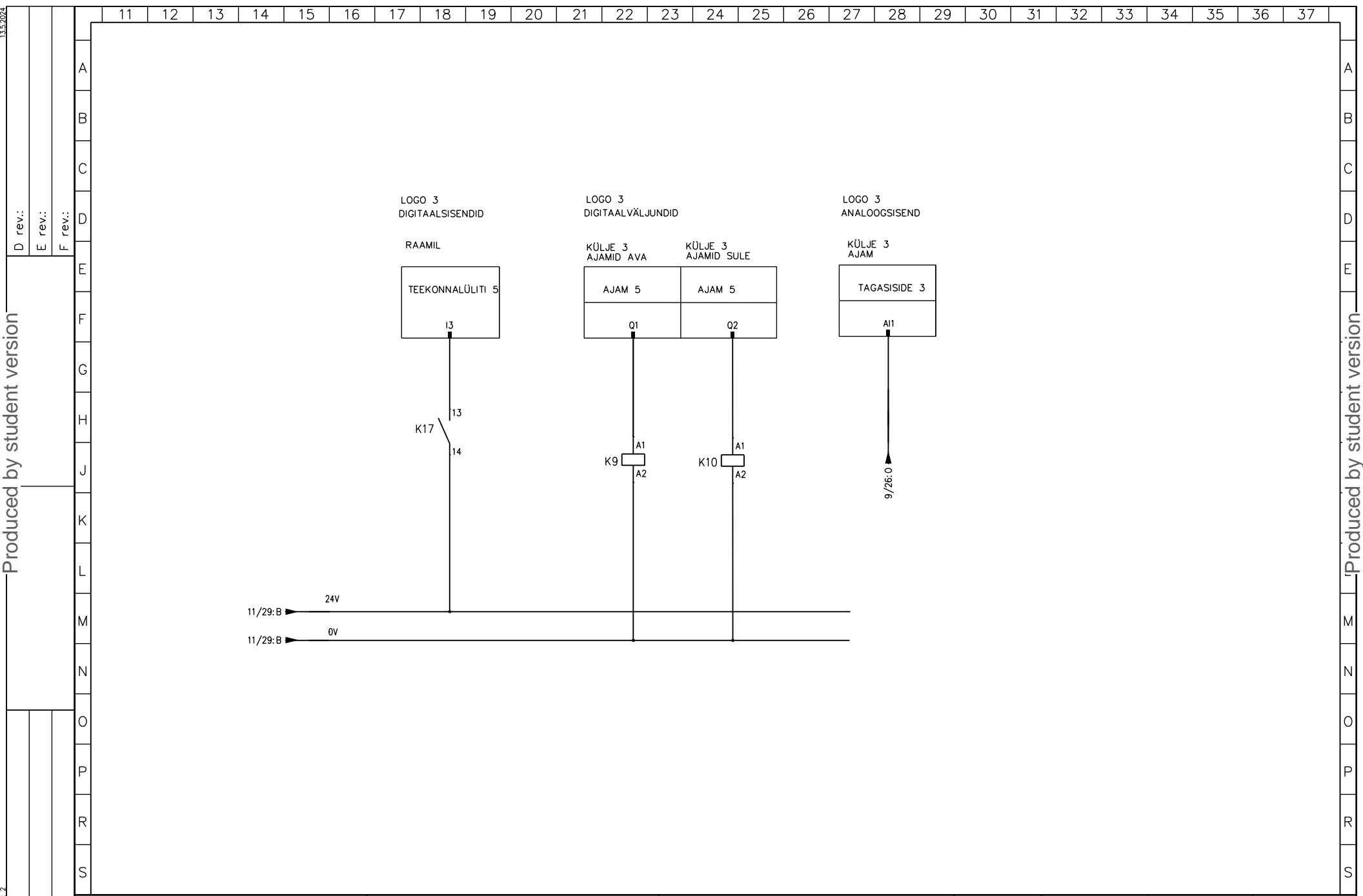
Produced by student version

A rev.:  
B rev.:  
C rev.:

Mittestatsionaarne energiajaam		LOGO8 nr 2 sisend/väljundid		Plan. KK /10/05/2024	Object ID	Electrical position	Job no. E001
				Draw. 10/05/2024	Sheet 13 / 17	Drawing no.	
				Check 10/05/2024	13		

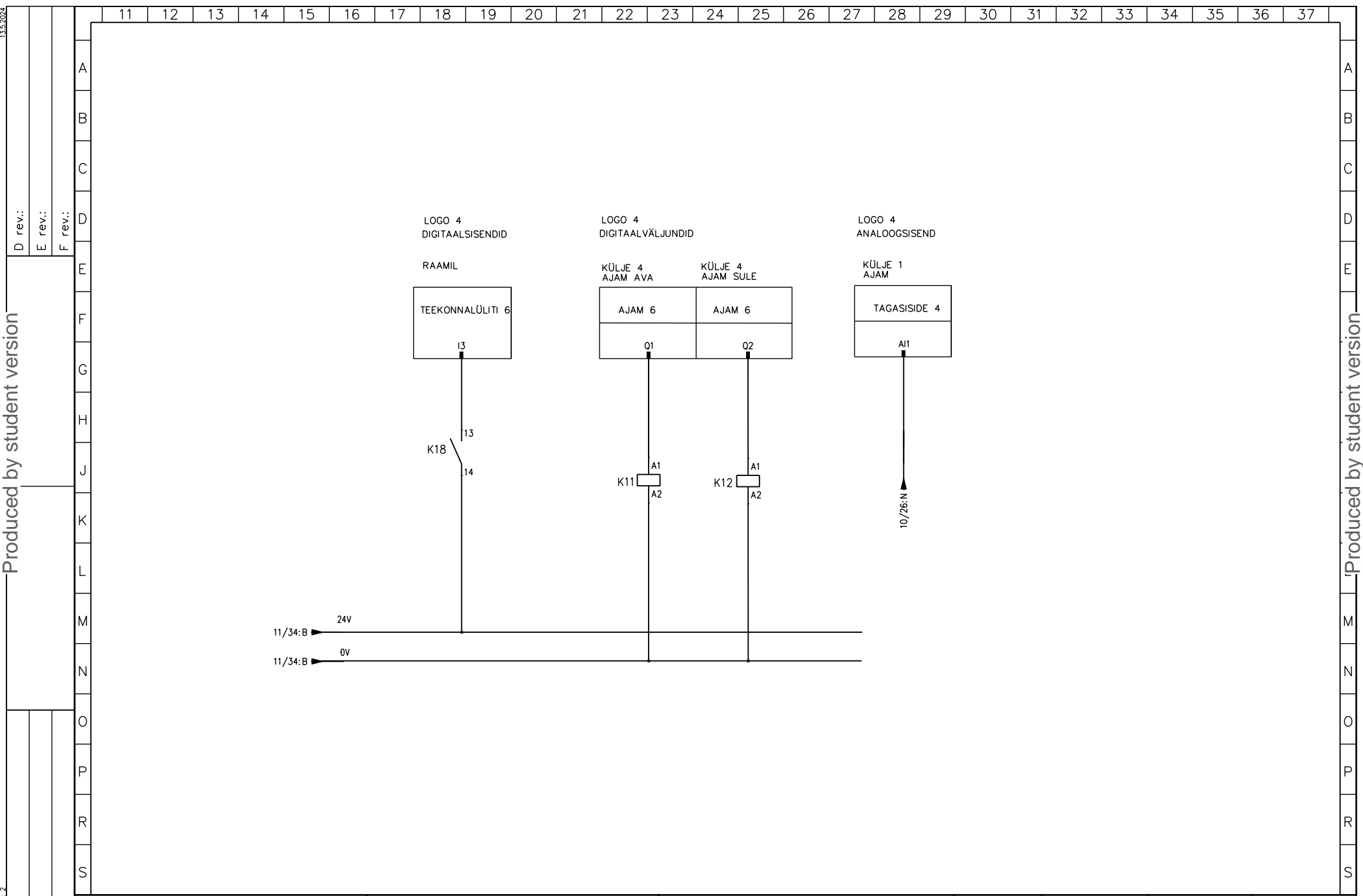
13.5.2024

Produced by student version



Produced by student version

Produced by student version



Produced by student version

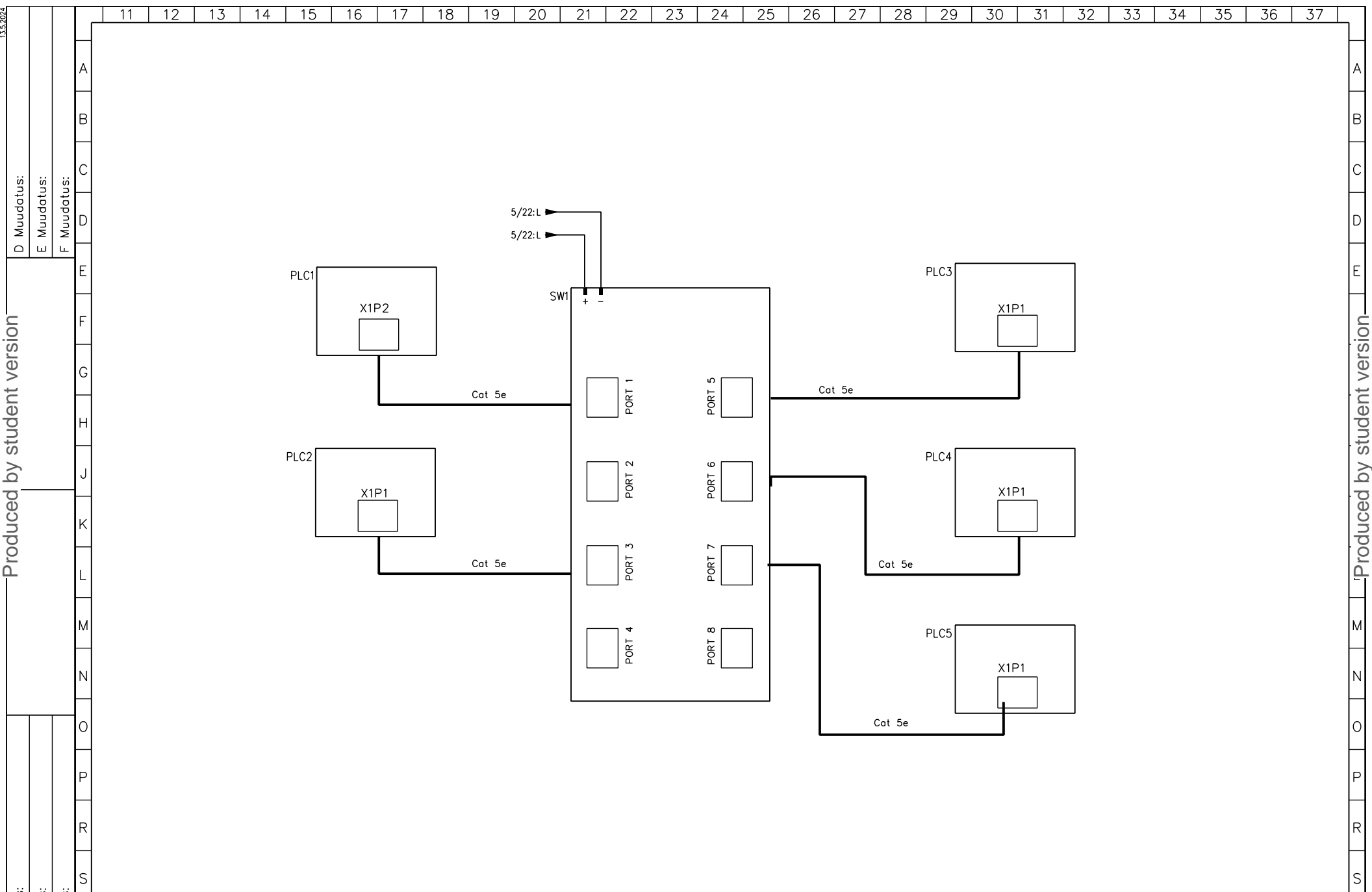
Produced by student version

13.5.2024
D rev.:
E rev.:
F rev.:
A
B
C
D
E
F
G
H
J
K
L
M
N
O
P
R
S

A rev.:
B rev.:
C rev.:

Mittestatsionaarne energiajaam	LOGO8 nr 4 sisend/väljundid
--------------------------------	-----------------------------

Plan. KK /10/05/2024	Object ID	Electrical position	Job no. E001
Draw. 10/05/2024	Sheet 15 / 17	Drawing no.	
Check 10/05/2024	15		



Produced by student version

Produced by student version

13.5.2024
D Muudatus:
E Muudatus:
F Muudatus:
A Muudatus:
B Muudatus:
C Muudatus:

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
A																											A
B																											B
C																											C
D																											D
E																											E
F																											F
G																											G
H																											H
J																											J
K																											K
L																											L
M																											M
N																											N
O																											O
P																											P
R																											R
S																											S

A Muudatus:
B Muudatus:
C Muudatus:

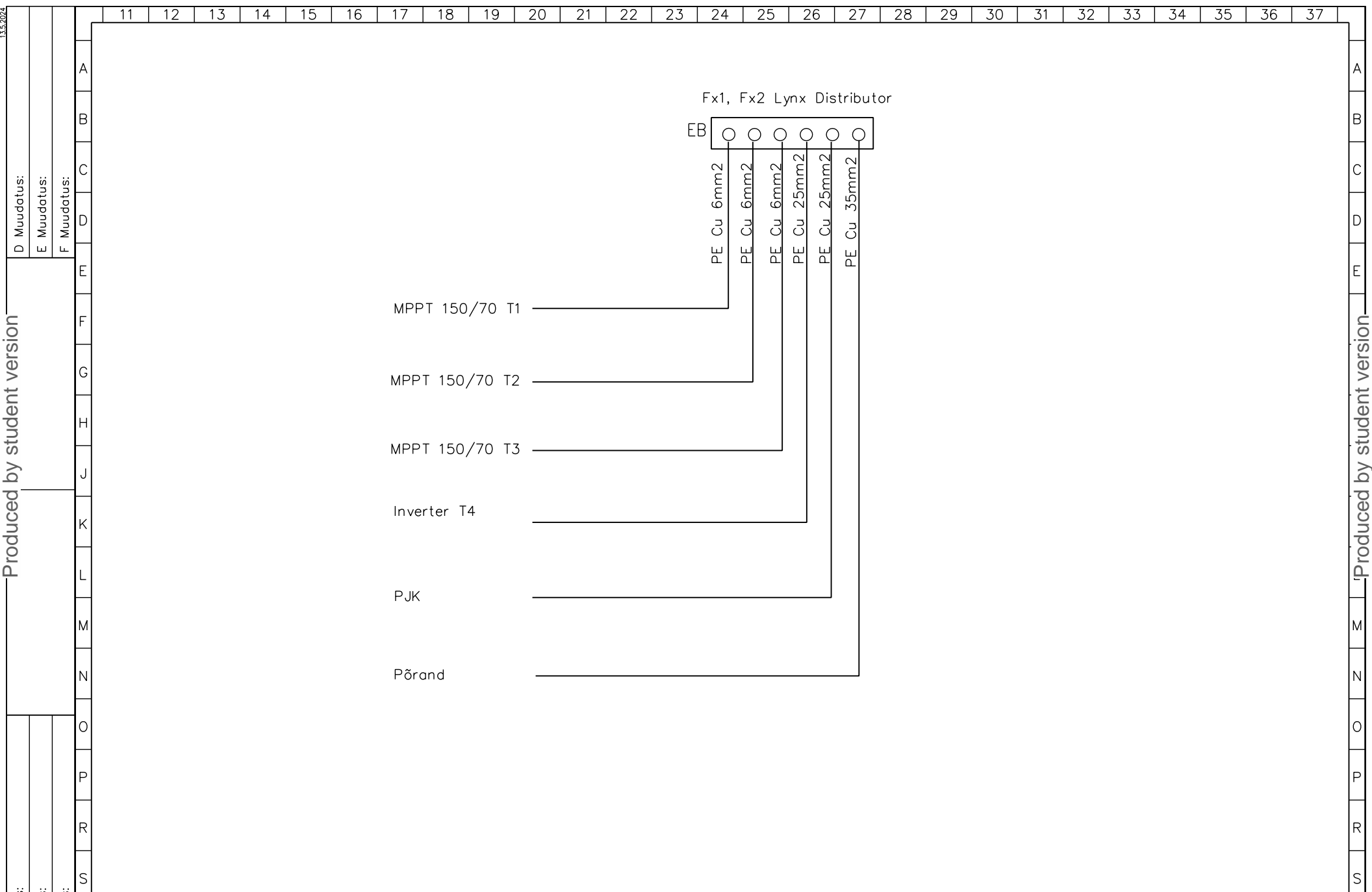
Mittestatsionaarne energiajaam

Kontrollerite omavaheline ühendus

Projekteeris  
KK /10/05/2024  
Kontrollis  
10/05/2024  
Kinnitas  
10/05/2024

Ahela nr.  
Leht  
16 / 17

Keskuse nr.  
Joonise nr.  
16  
166 nr.  
E001



Produced by student version

Produced by student version

13.5.2024
D Muudatus:
E Muudatus:
F Muudatus:
A
B
C
D
E
F
G
H
J
K
L
M
N
O
P
R
S

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
A																											A
B																											B
C																											C
D																											D
E																											E
F																											F
G																											G
H																											H
J																											J
K																											K
L																											L
M																											M
N																											N
O																											O
P																											P
R																											R
S																											S

A Muudatus:
B Muudatus:
C Muudatus:

Mittestatsionaarne energiajaam	Potentsiaaliühtlustus
--------------------------------	-----------------------

Projekteeris KK /10/05/2024	Ahela nr.	Keskuse nr.	Töö nr. E001
Kontrollis 10/05/2024	Leht 17 / 17	Joonise nr.	
Kinnitas 10/05/2024			17



***Lisa 2 Siemens S7 programm***

## Mobiilne energijaam / PLC\_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Program blocks

### Main [OB1]

#### Main Properties

##### General

<b>Name</b>	Main	<b>Number</b>	1	<b>Type</b>	OB
<b>Language</b>	LAD	<b>Numbering</b>	Automatic		

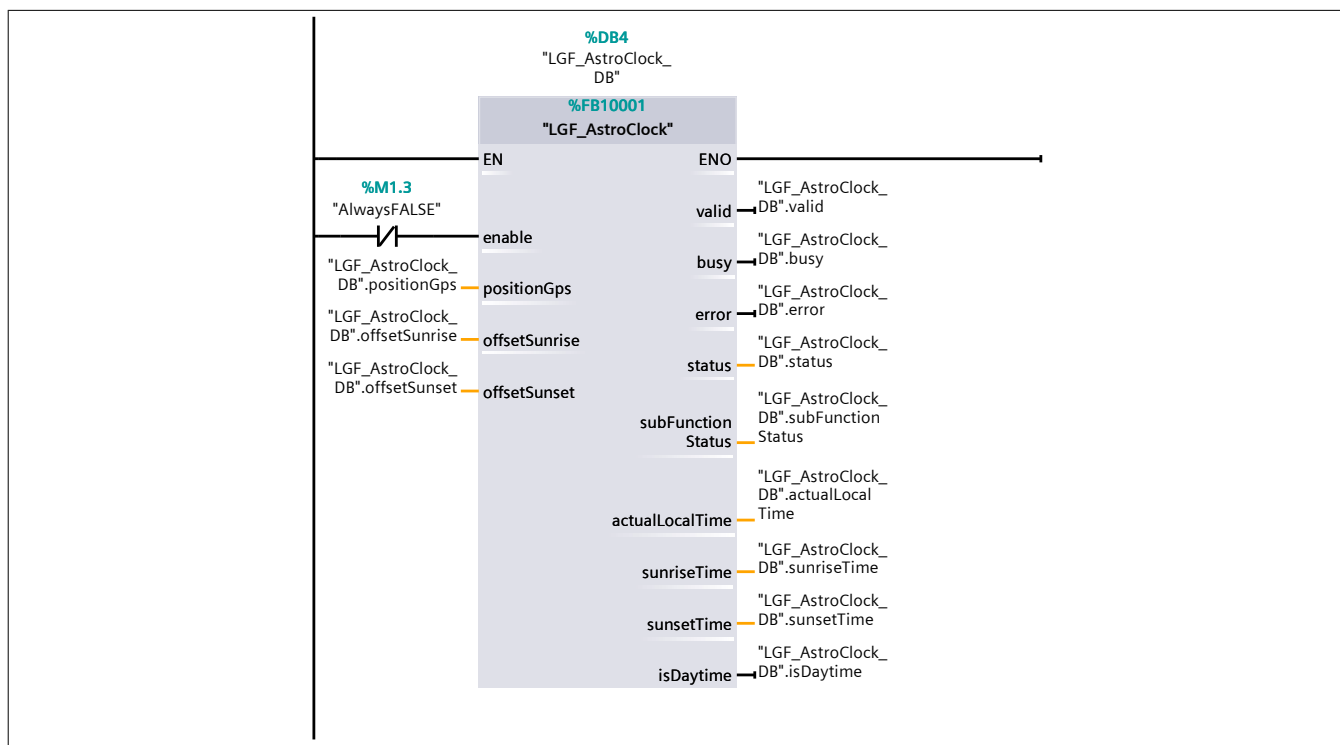
##### Information

<b>Title</b>	"Main Program Sweep (Cycle)"	<b>Author</b>		<b>Comment</b>	
<b>Family</b>		<b>Version</b>	0.1	<b>User-defined ID</b>	

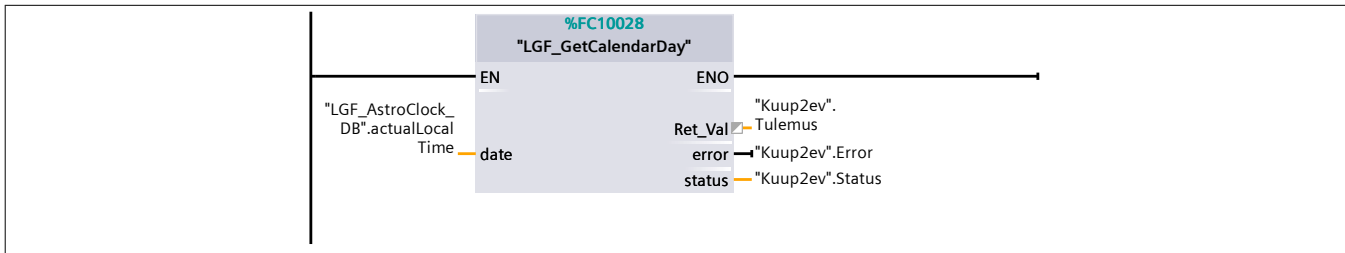
#### Main

Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		=True, if remanent data are available
Temp			
Constant			

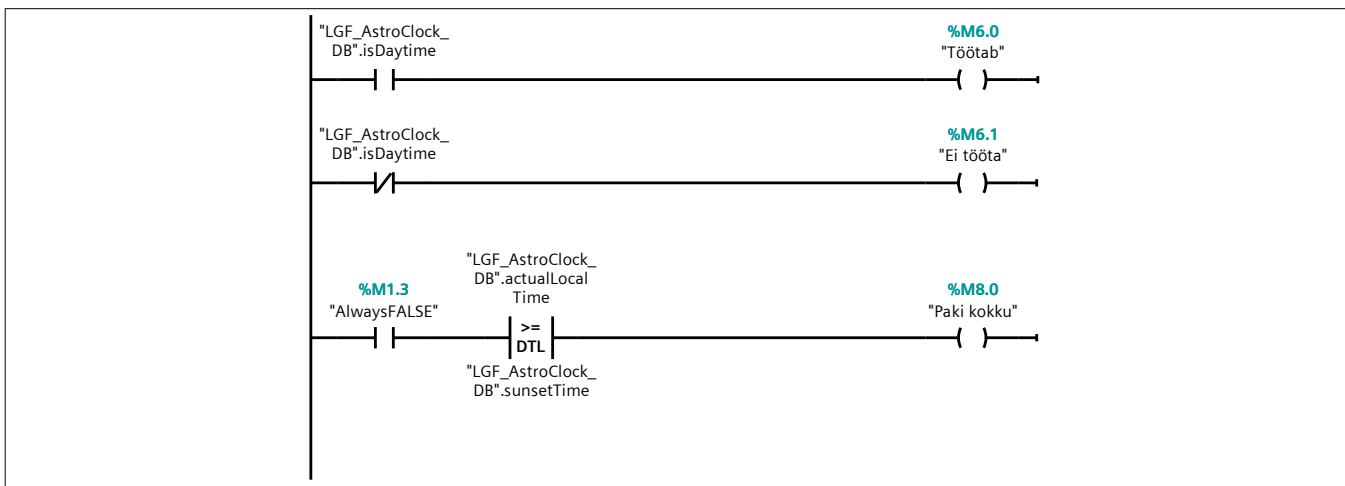
### Network 1: Astronoomiline kell



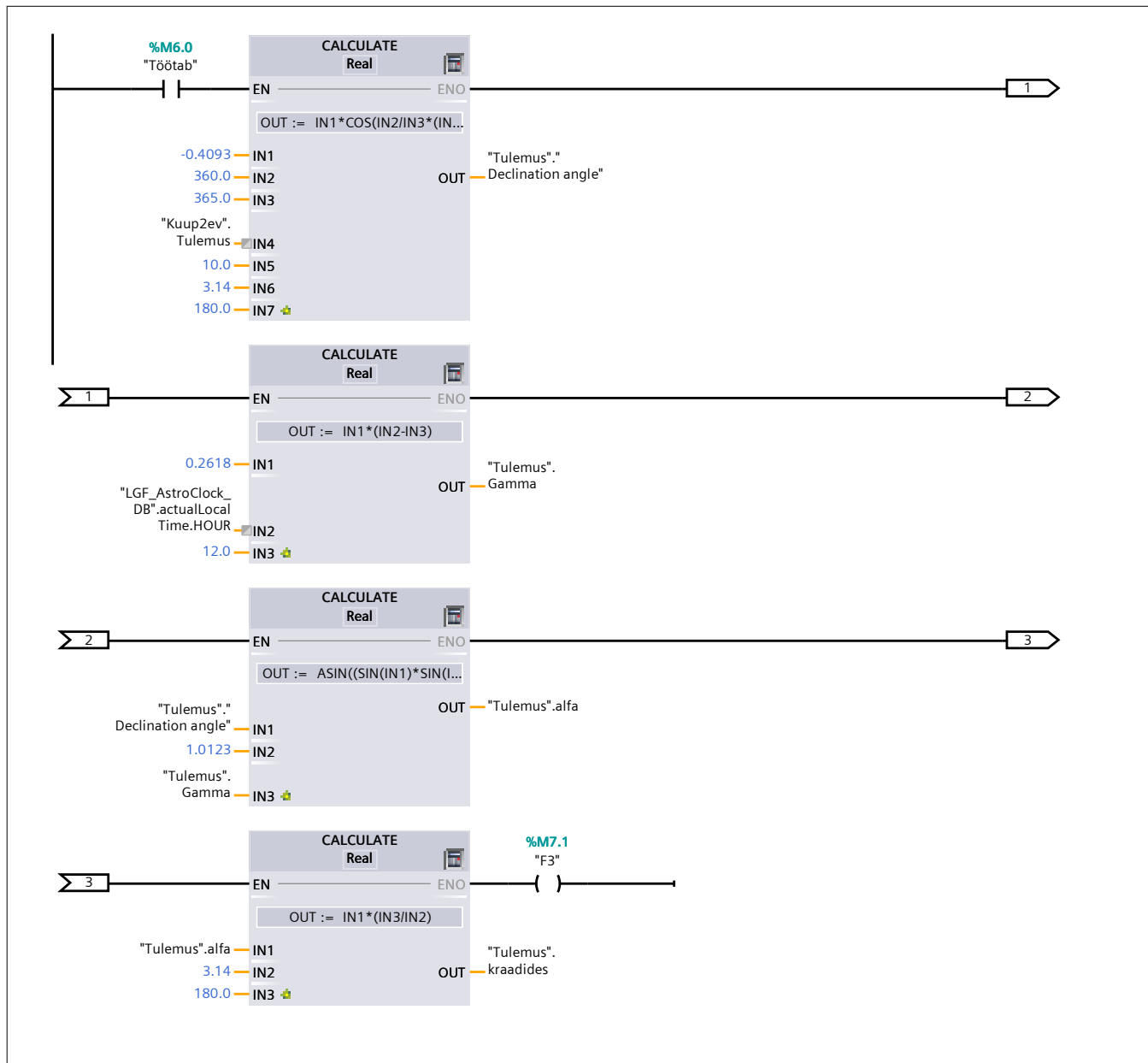
### Network 2: Mitmes päev aastas



**Network 3: Kas päike on tõusnud või mitte? Päikeseloojangul tuleb paneelid kokku pakkida.**

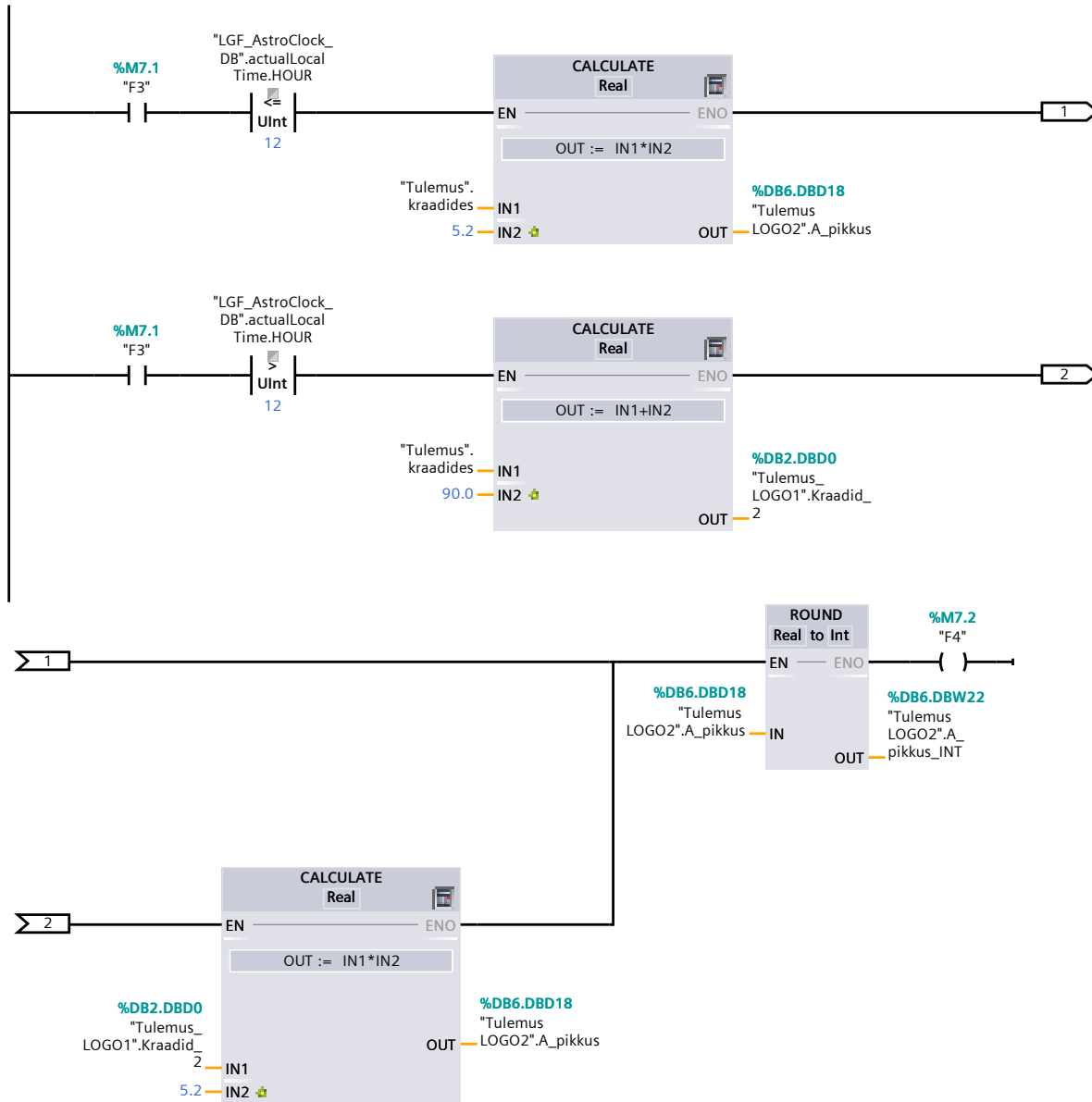


**Network 4: Arvutab päikese tõusunurga**



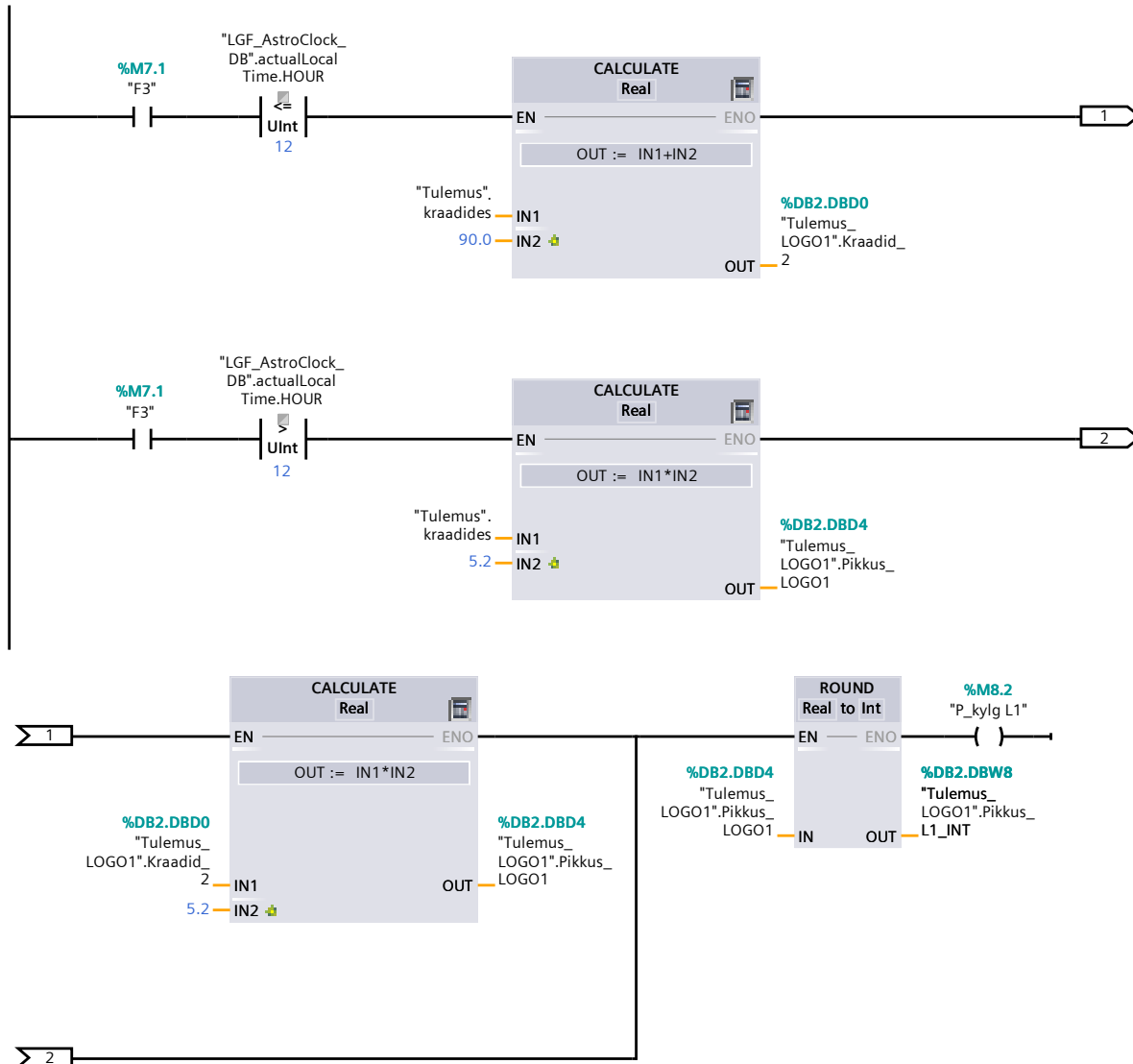
**Network 5: Külg, mis hommikul on madalamal**

LOGO 2



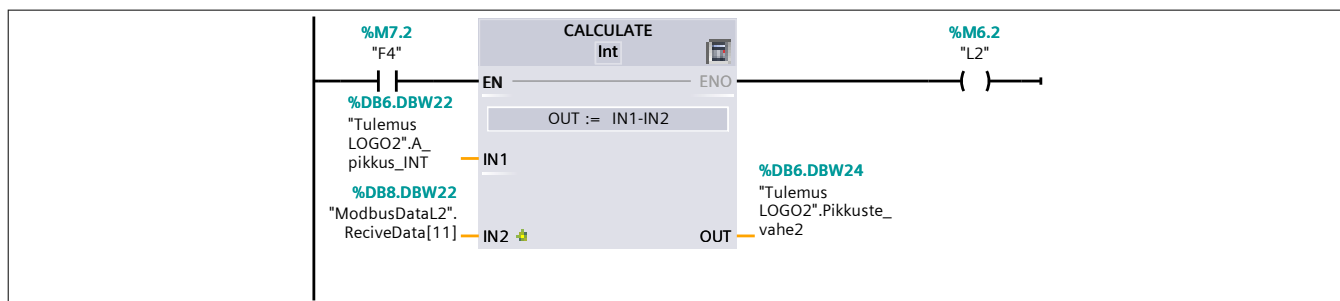
### Network 6: Külg, mis hommikul kõrgemal

LOGO 1



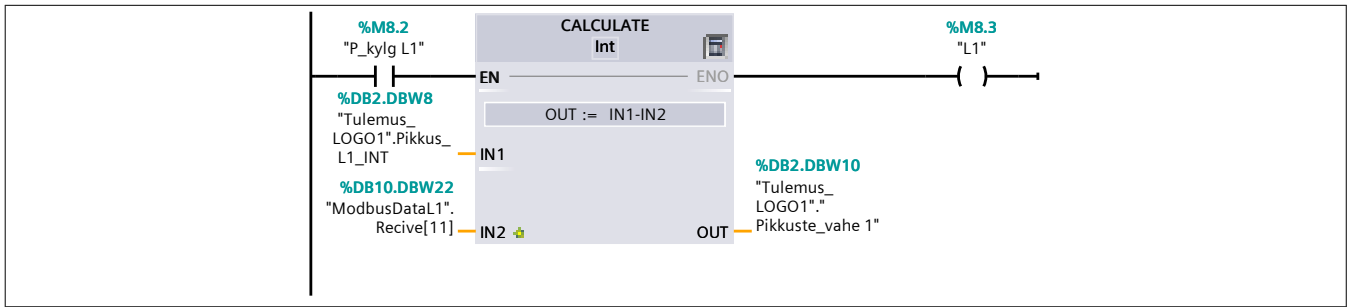
### Network 7: Pikk külge 2

LOGO 2



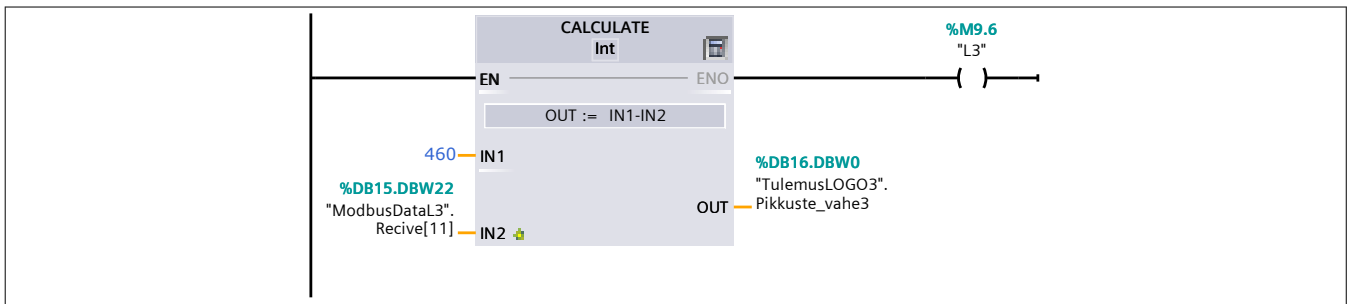
### Network 8: Tagasiside mootorilt. Arvutatud suuruse ja tagasiside suuruse vahe,

LOGO 1



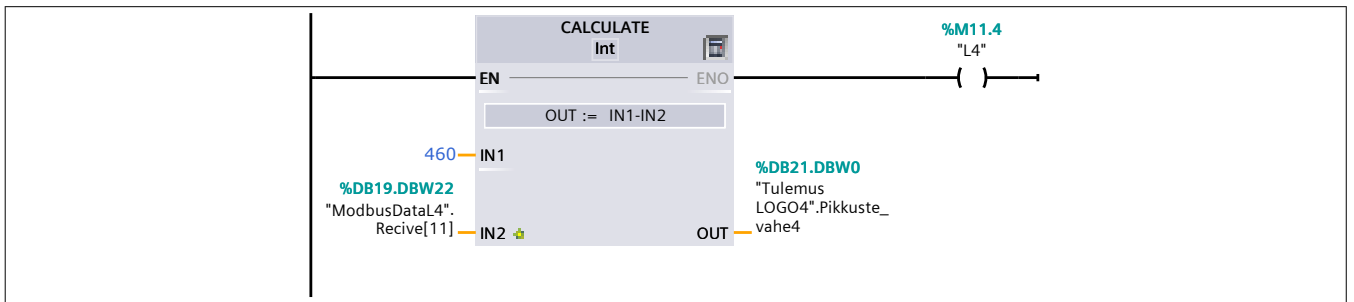
**Network 9: Lühem külg 1 on alati 90 kraadise nurga all.**

LOGO 3



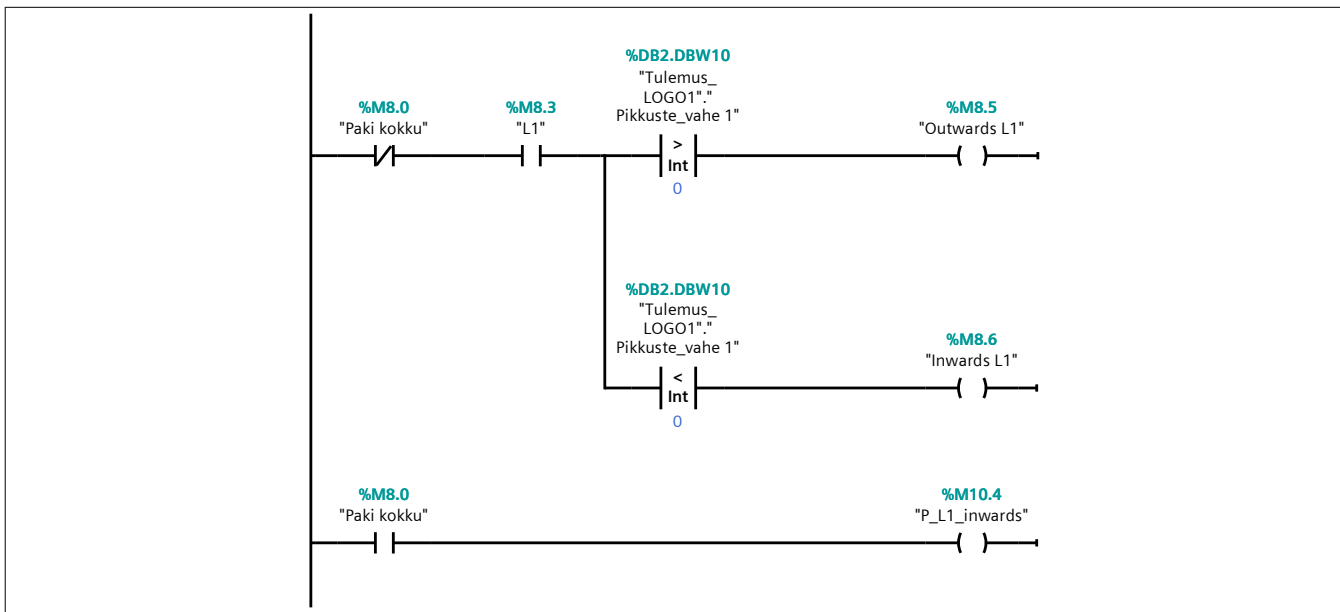
**Network 10: Lühem külg 2 on alati 90 kraadise nurga all.**

LOGO 4



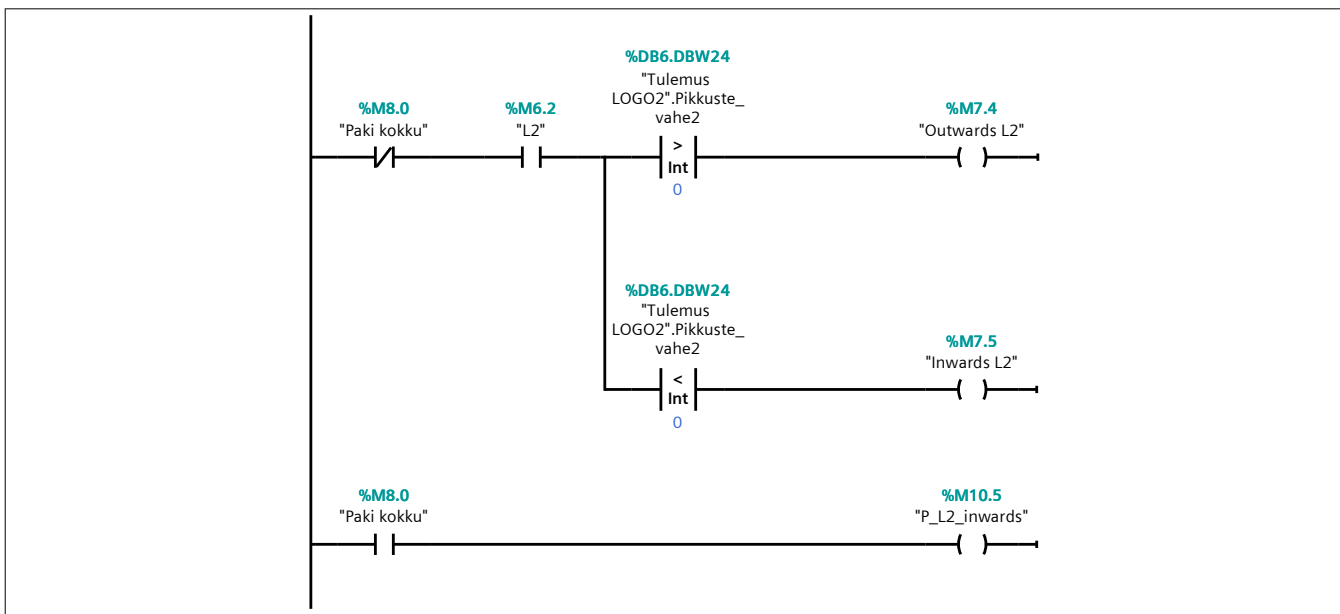
**Network 11: Pikk külg 1 mootorite juhtimine.**

LOGO 1



**Network 12: Pikk kül 2 mootorite juhtimine.**

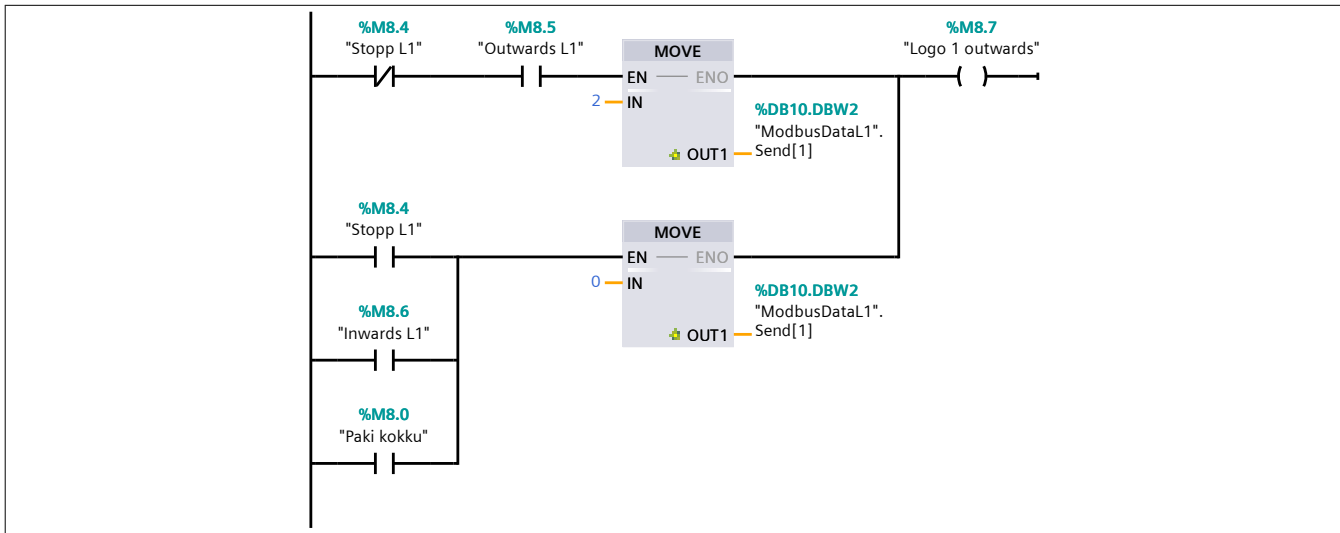
LOGO 2



**Network 13: Pikem kül 1 välja poole.**

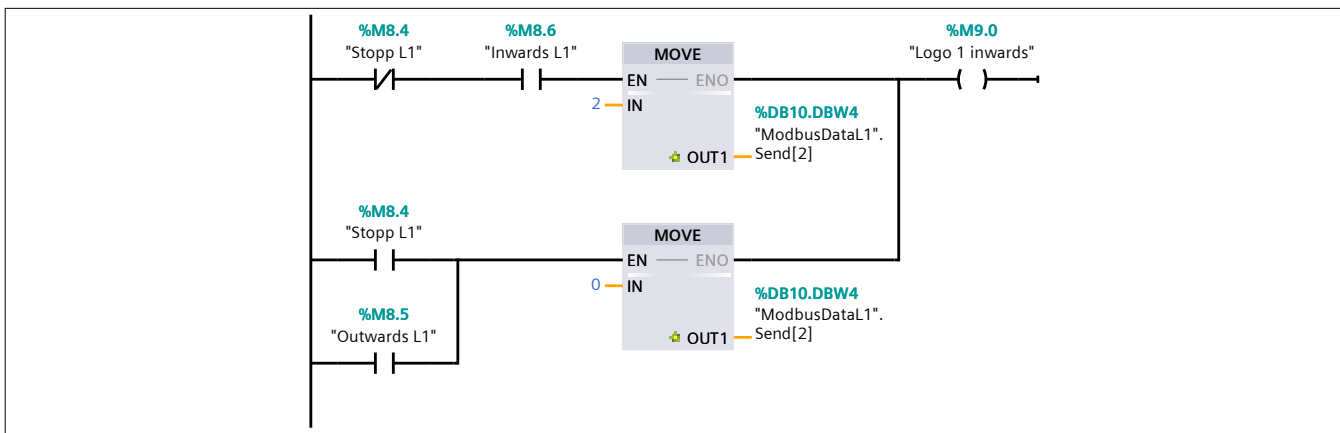
LOGO 1





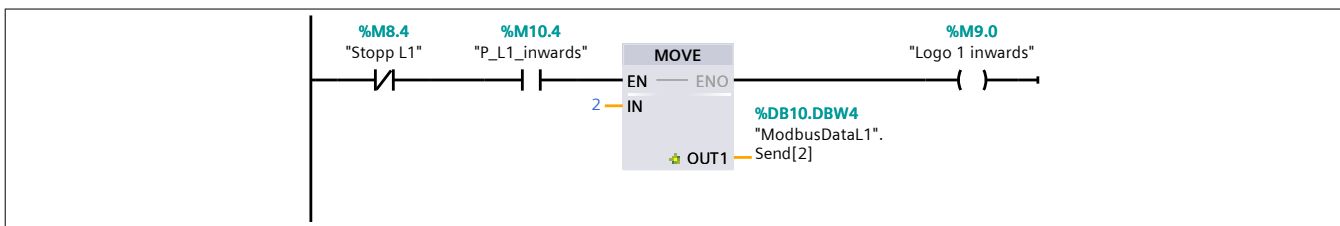
**Network 14: Pikem külg 1 sisse poole.**

LOGO 1



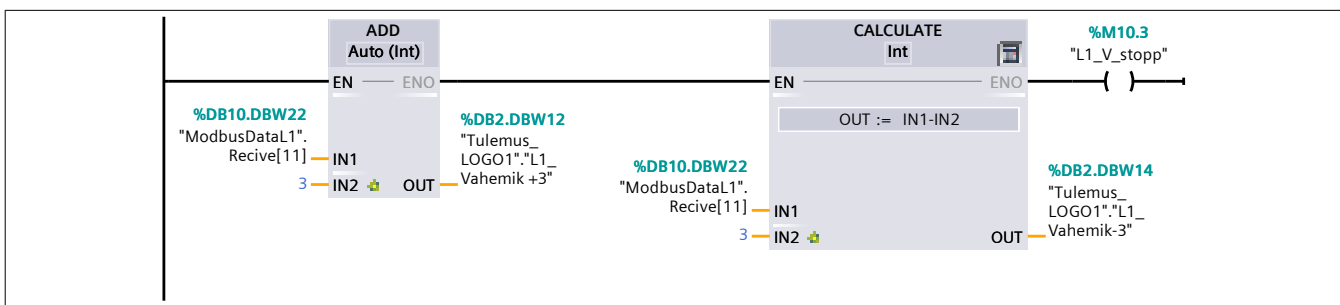
**Network 15: Paki kokku.**

LOGO 1



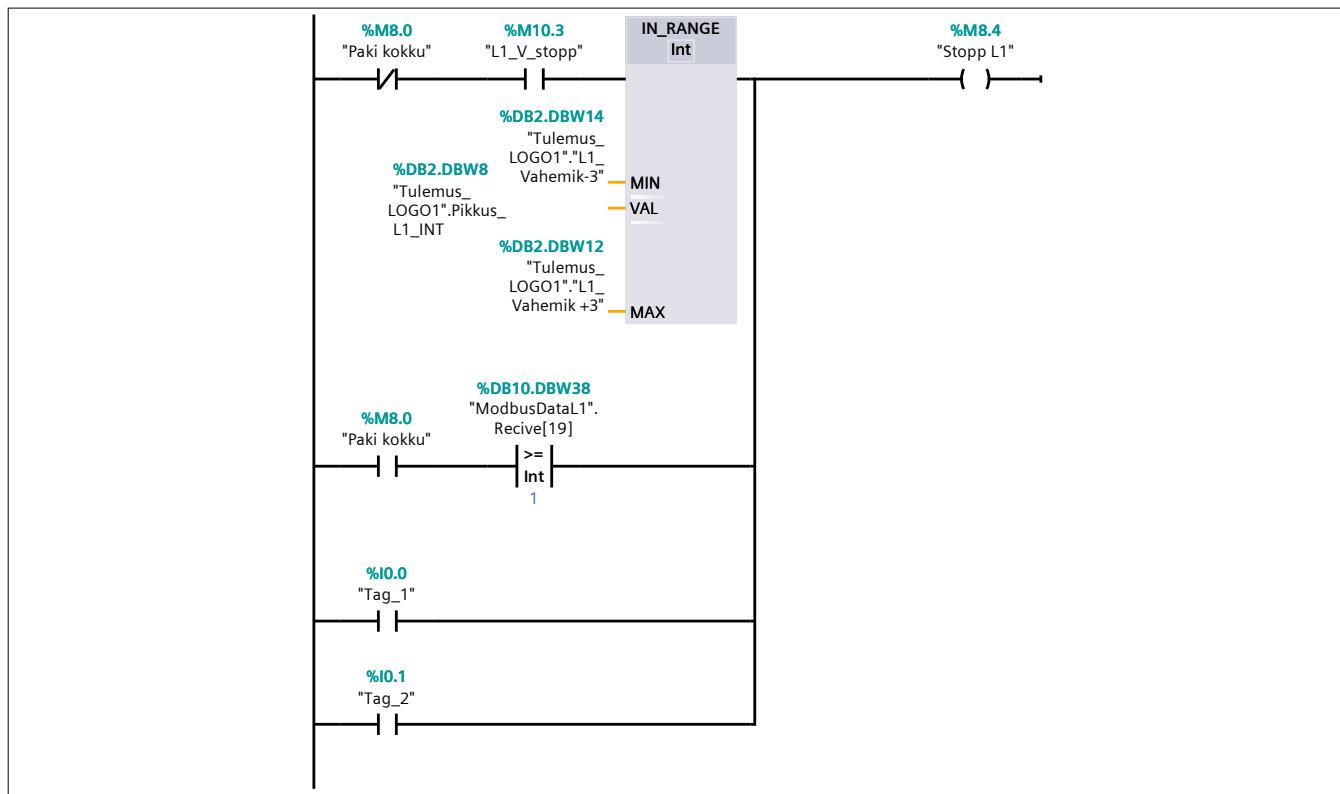
**Network 16: Tagasiside vahemik pikem külg 1.**

LOGO 1



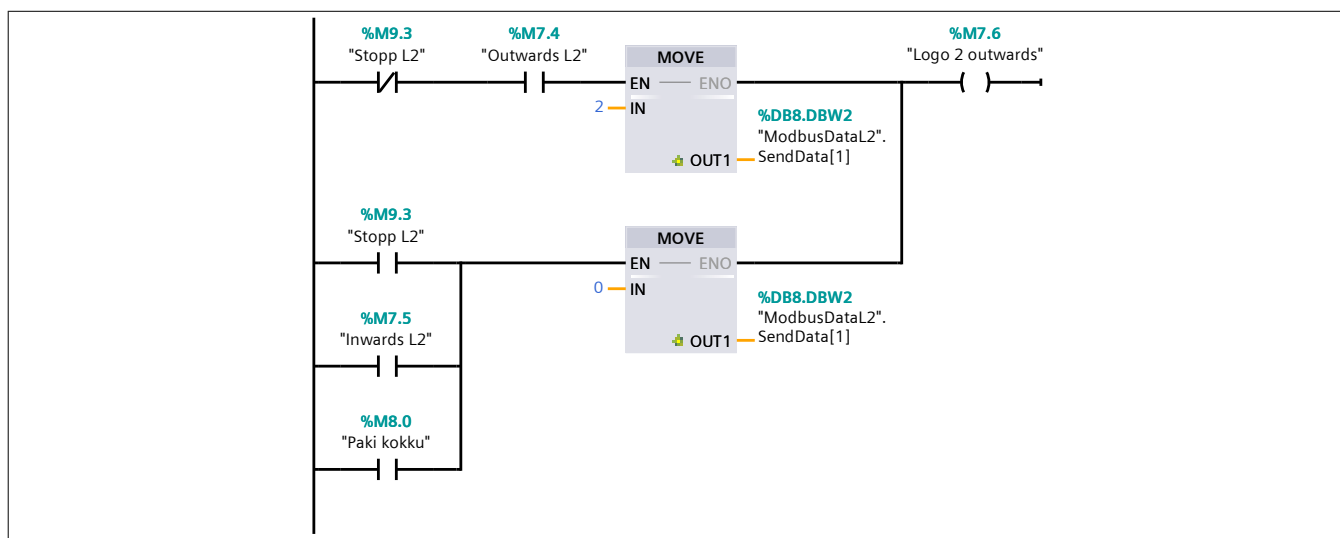
### Network 17: Pikem külg 1 stopp.

LOGO 1



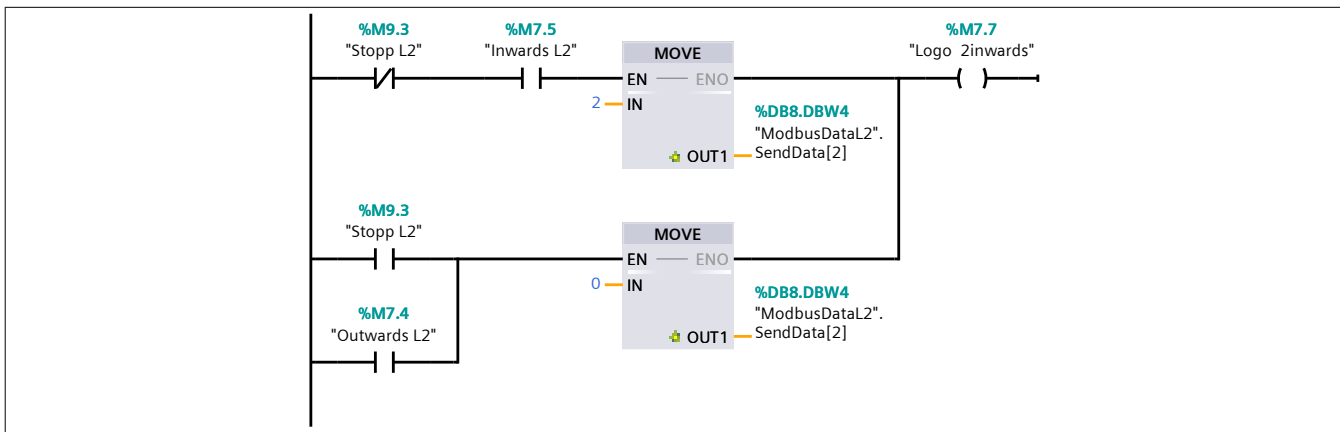
### Network 18: Pikem külg 2 välja poole.

LOGO 2



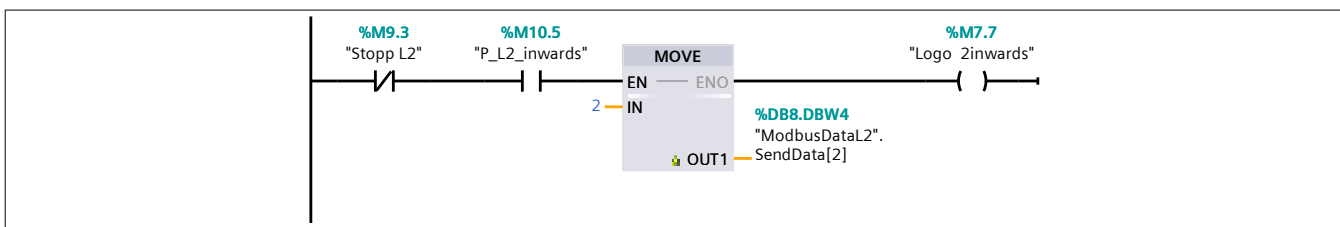
### Network 19: Pikem külg 2 sisse poole.

LOGO 2



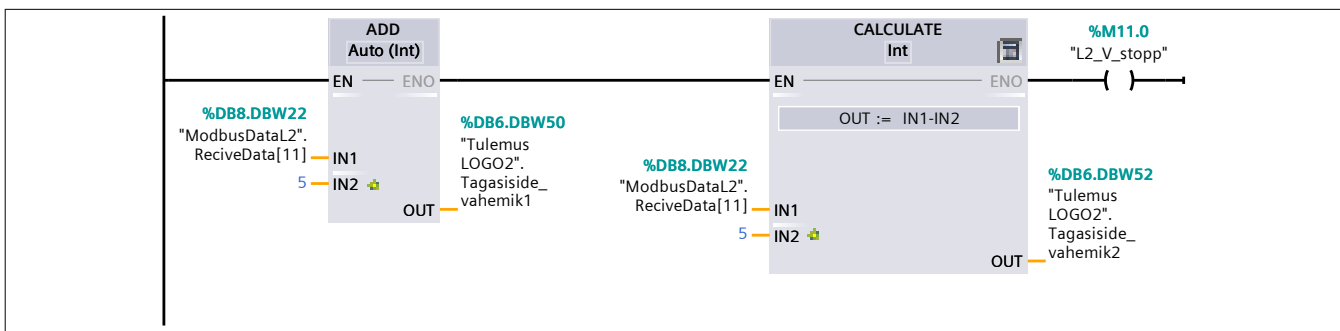
**Network 20: Paki kokku.**

LOGO 2



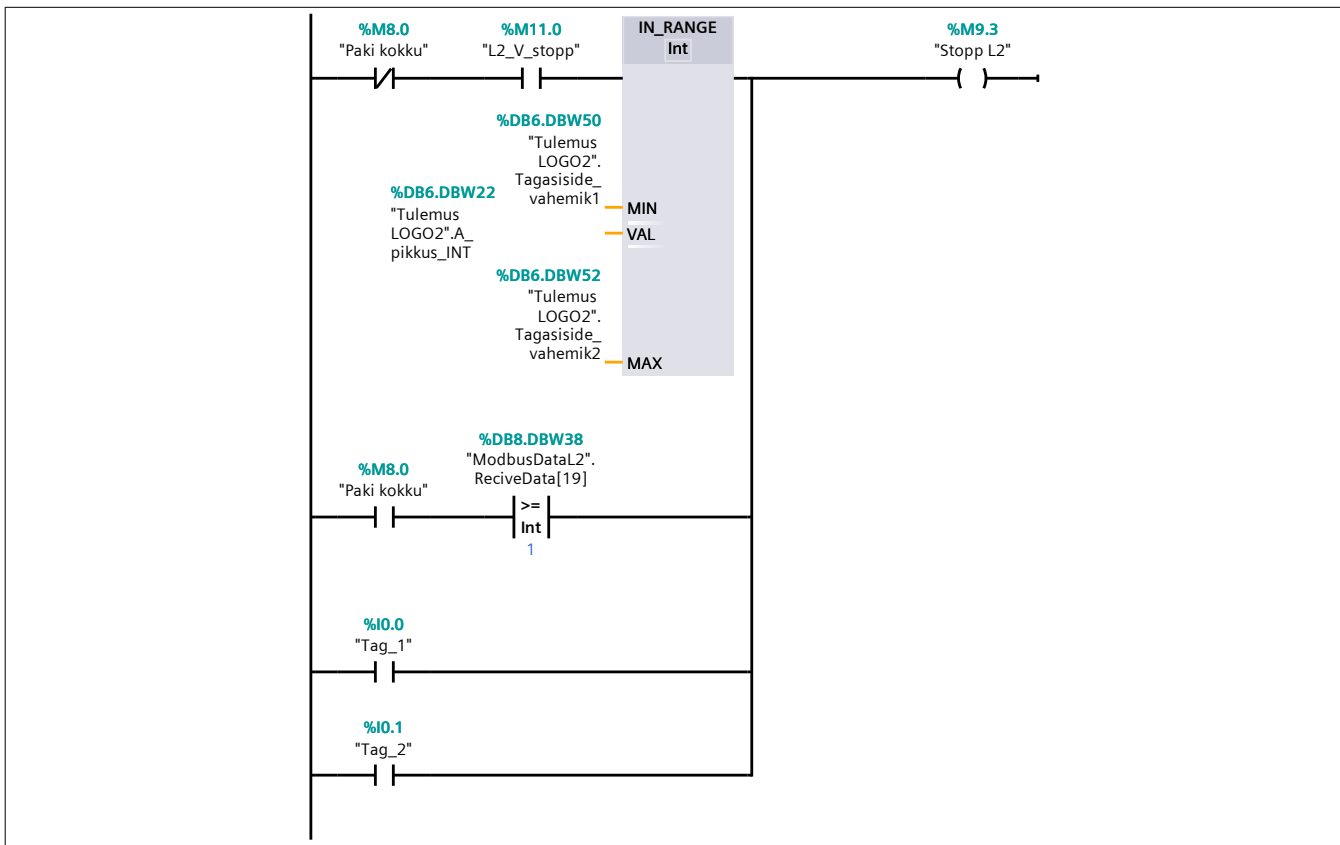
**Network 21: Pikem külg 2 tagasiside vahemik.**

LOGO 2



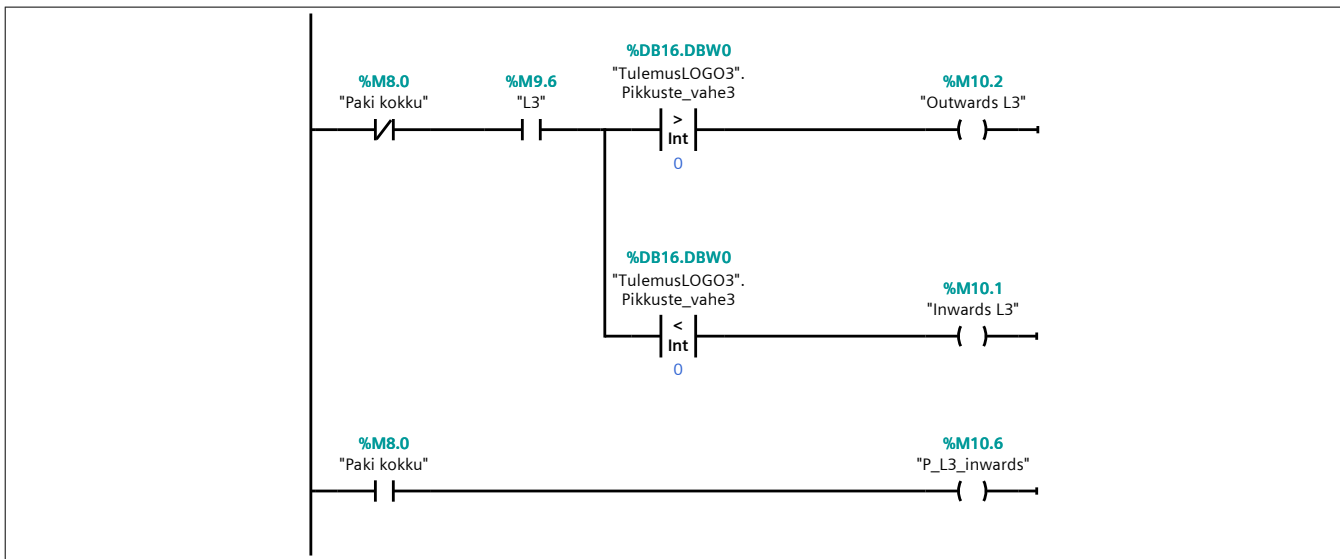
**Network 22: Pikem külg 2 stopp.**

LOGO 2



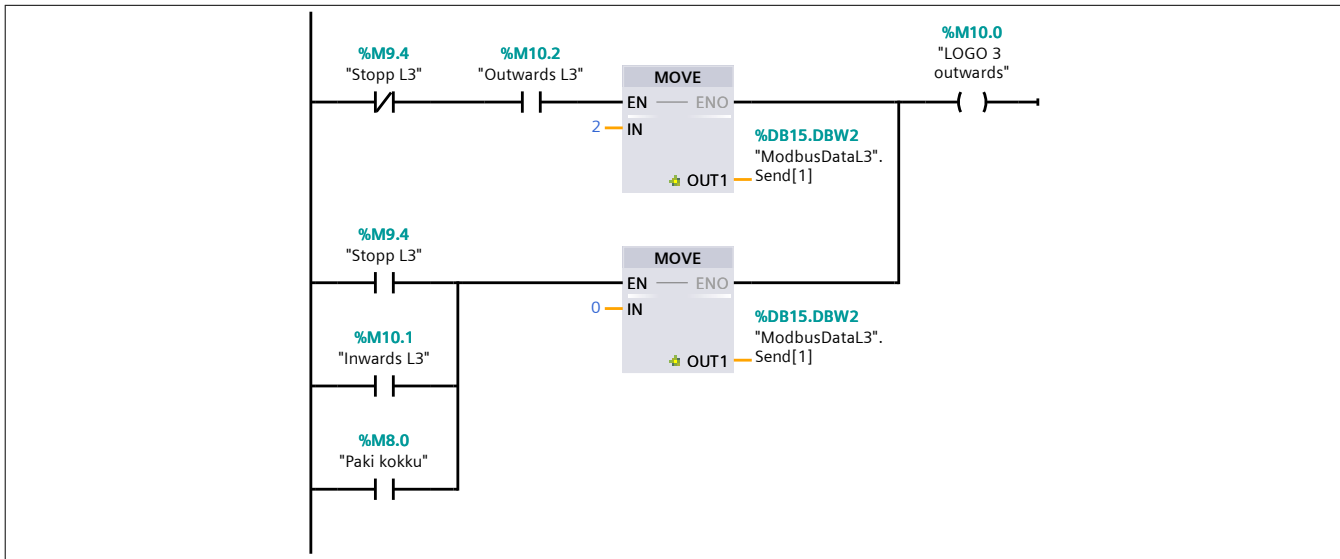
**Network 23: Lühike külg 1 mootori juhtimine.**

LOGO 3



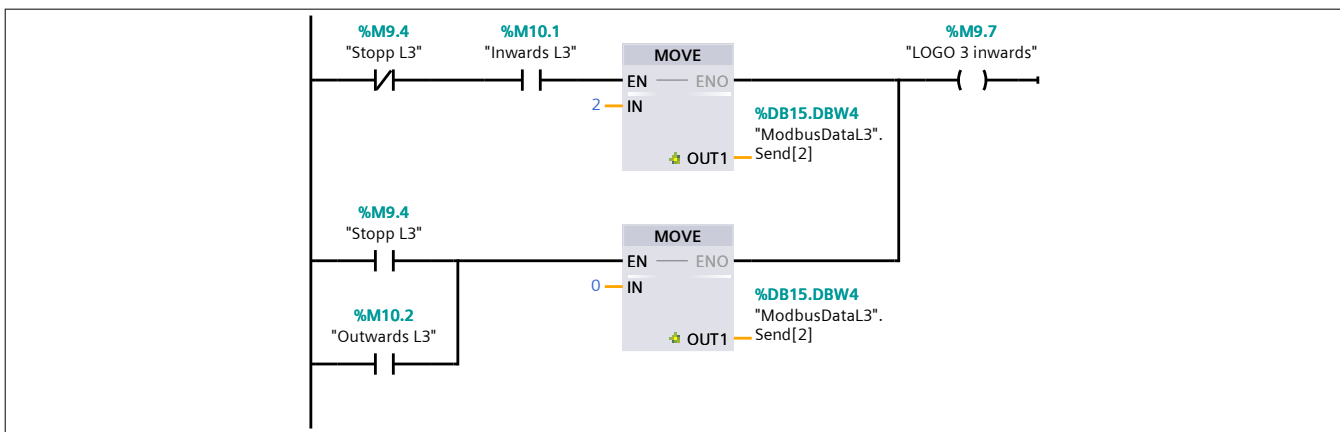
**Network 24: Lühike külg 1 välja poole.**

LOGO 3



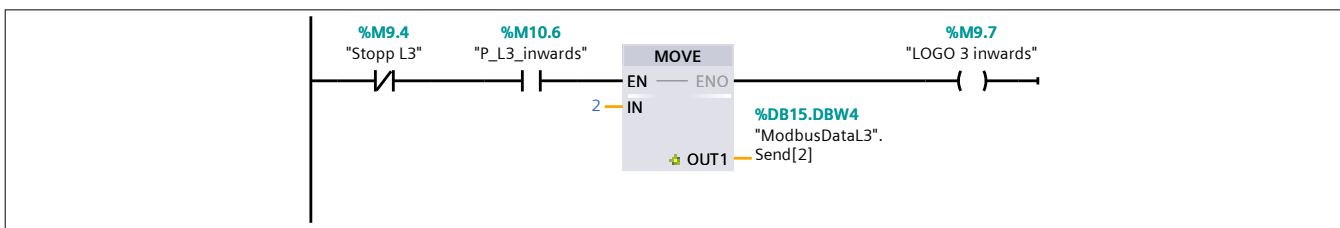
**Network 25: Lühike külg 1 sisse poole.**

LOGO 3



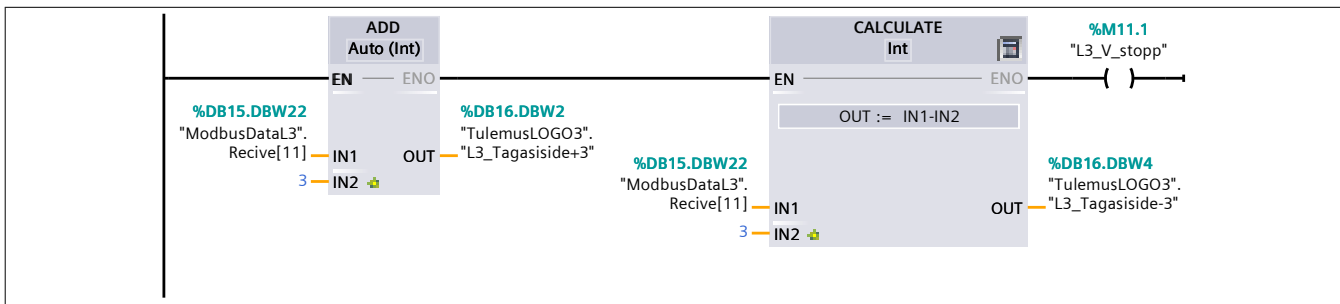
**Network 26: Paki kokku.**

LOGO 3



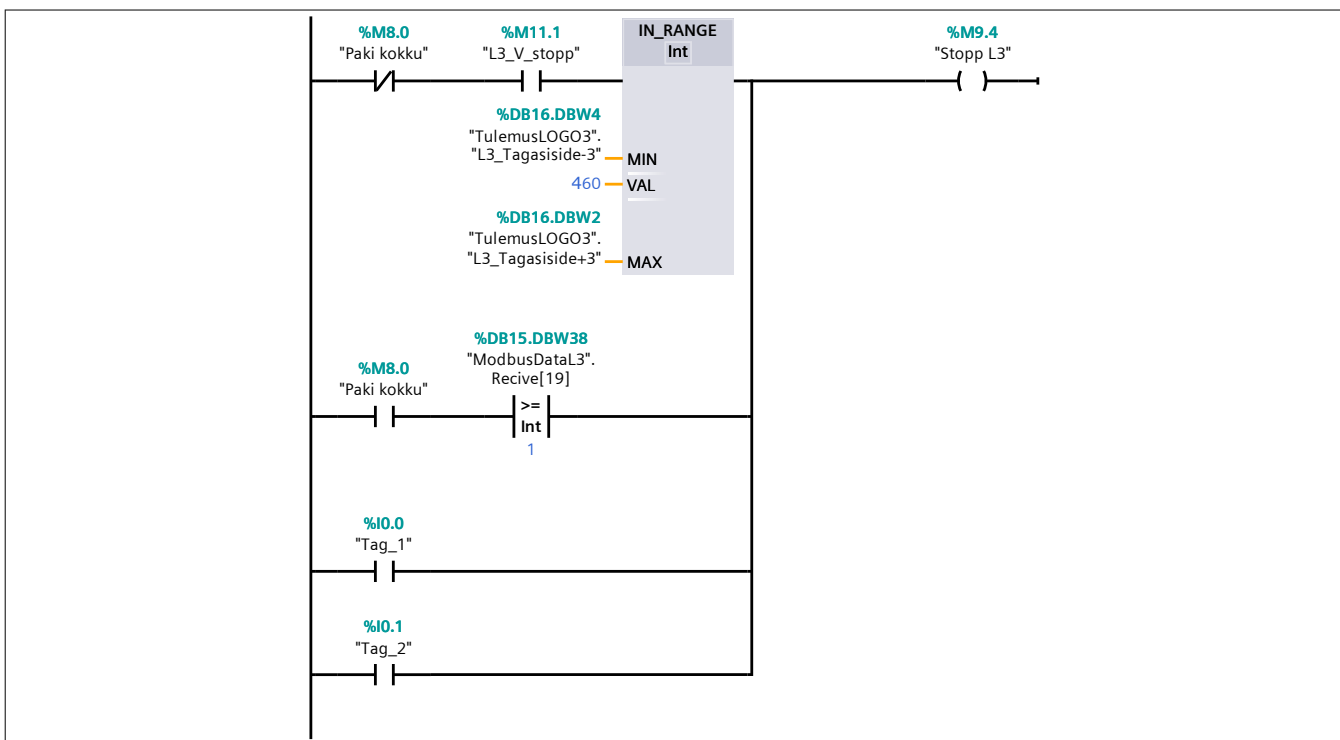
**Network 27: Lühike külg 1 tagasiside vahemik.**

LOGO 3



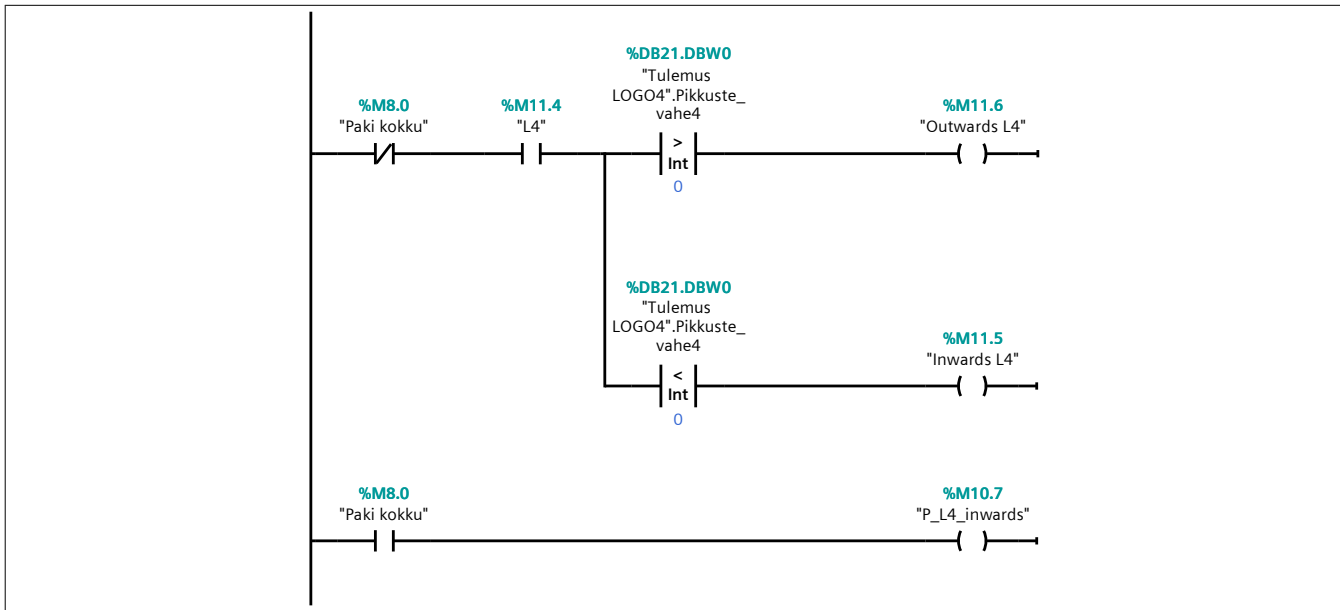
### Network 28: Lühike külg 1 stopp

LOGO 3



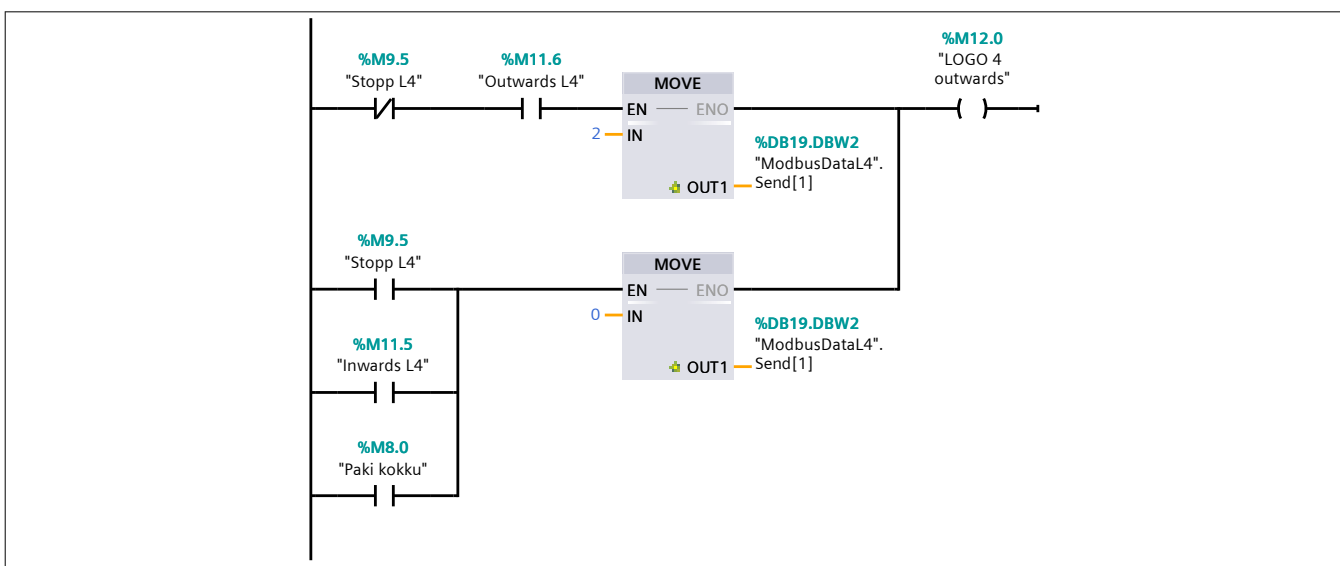
### Network 29: Lühike külg 2 mootori juhtimine

LOGO 4



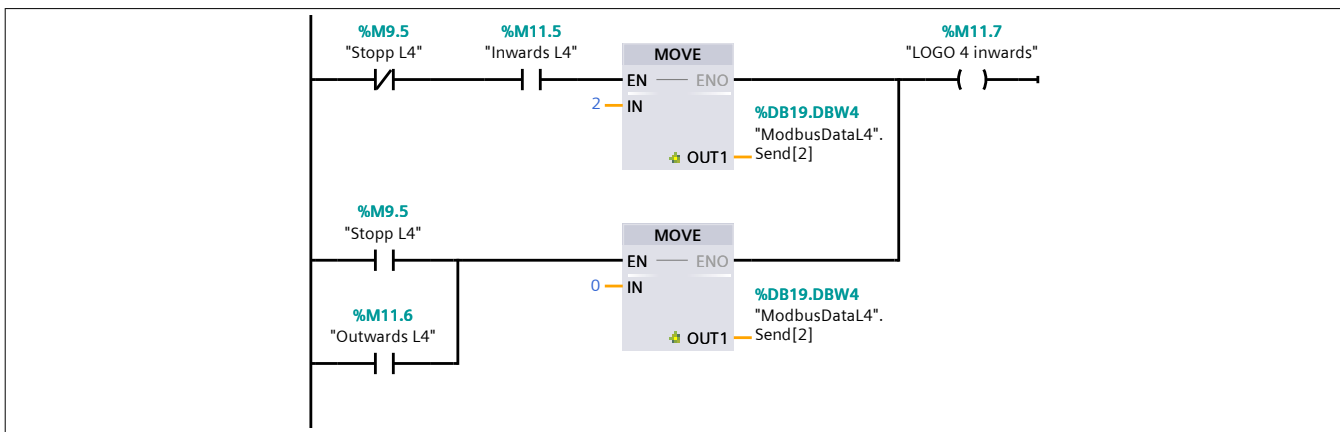
### Network 30: Lühike külg 2 välja poole

LOGO 4



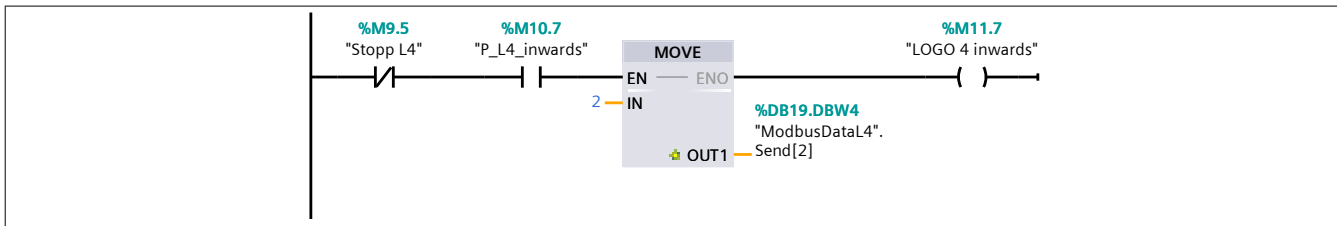
### Network 31: Lühike külg 2 sisse poole

LOGO 4



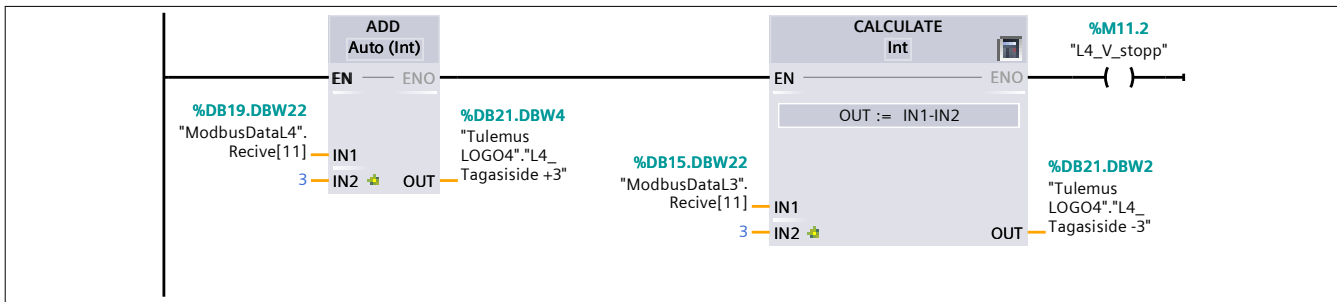
### Network 32: Paki kokku

LOGO 4



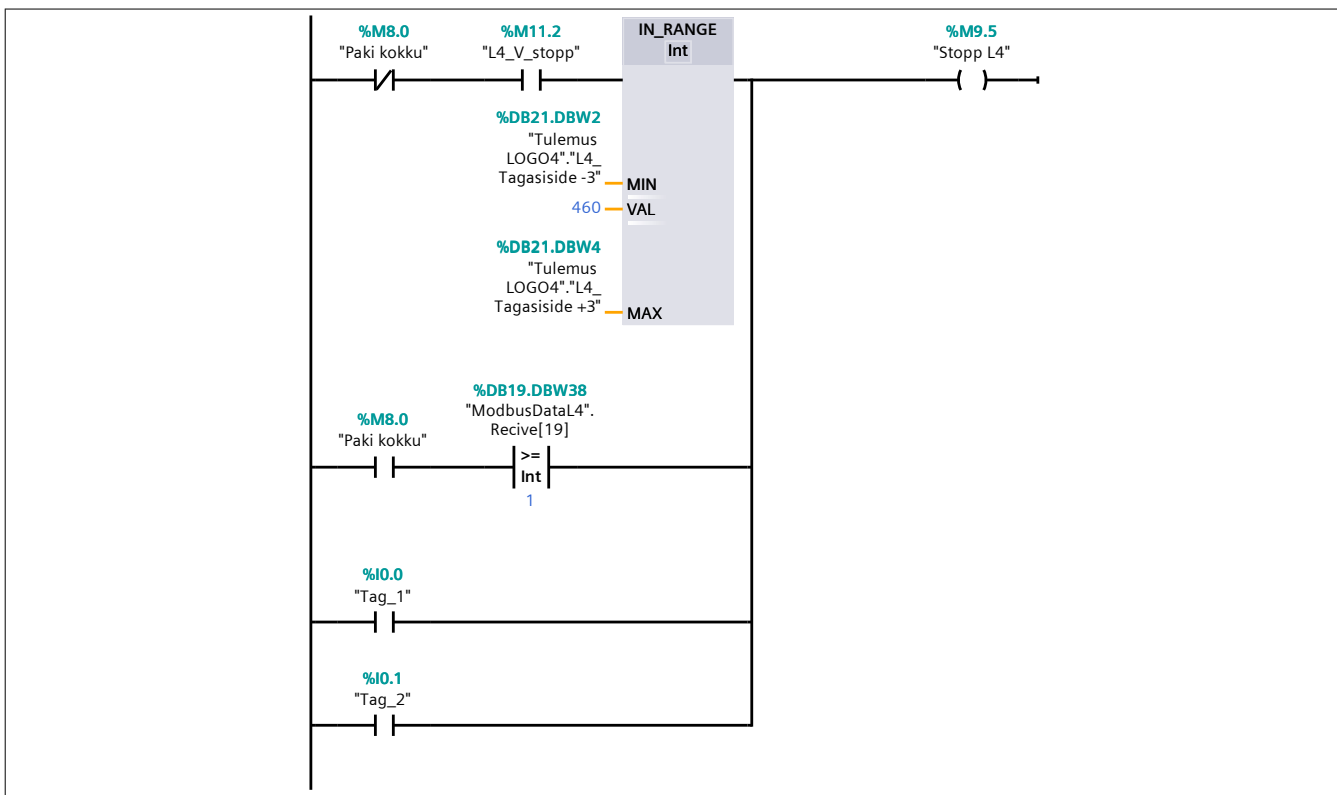
### Network 33: Lühike külg 2 tagasiside vahemik

LOGO 4



### Network 34: Lühike külg 2 stopp

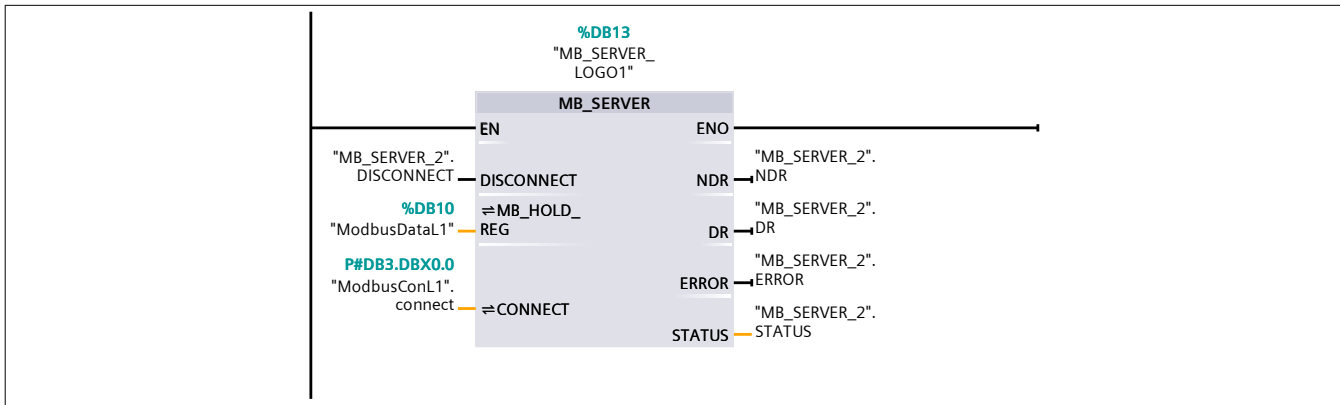
LOGO 4



### Network 35: LOGO 1 andmete vahetus

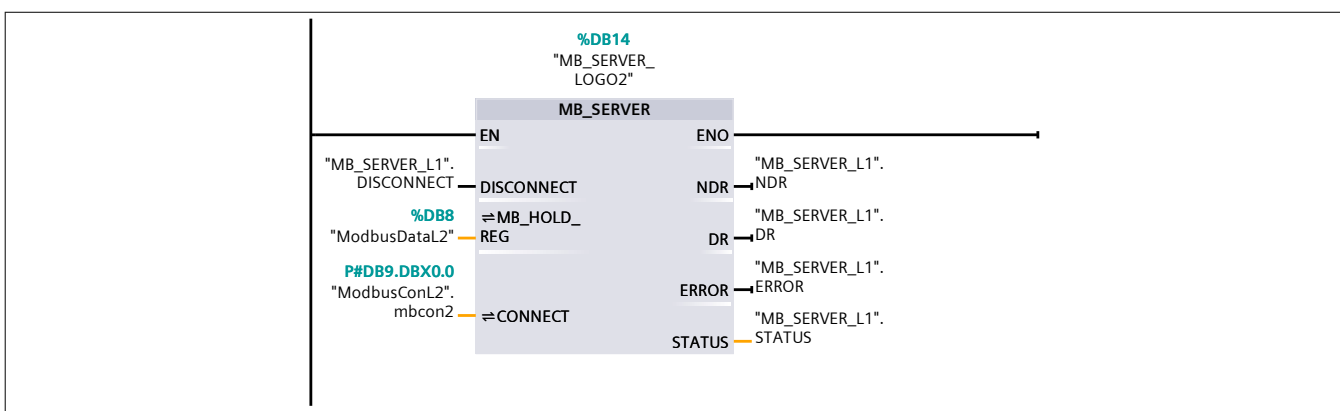
LOGO 1





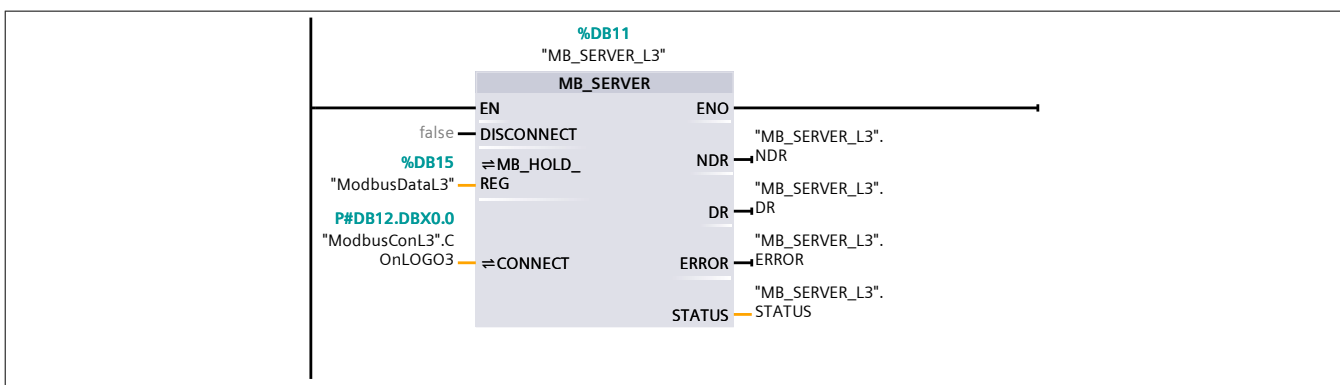
**Network 36: LOGO 2 andmete vahetus**

LOGO 2



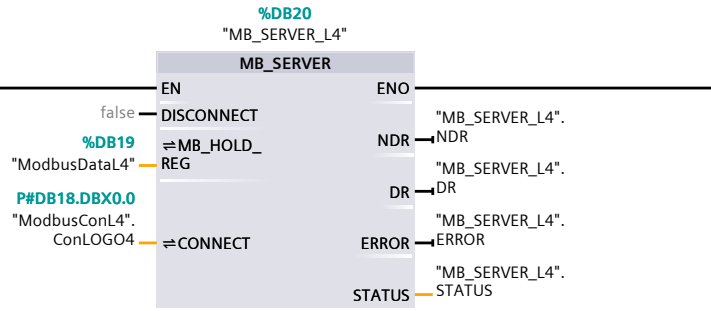
**Network 37: LOGO 3 andmete vahetus**

LOGO 3

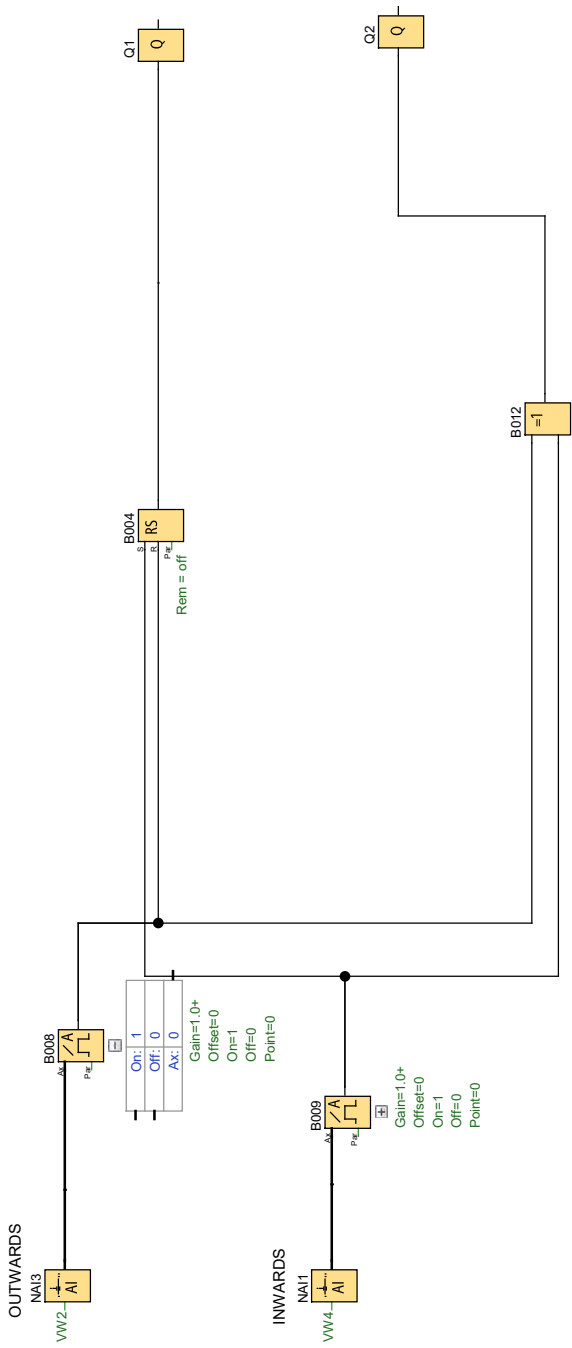
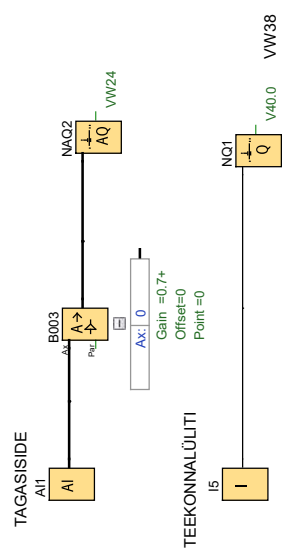
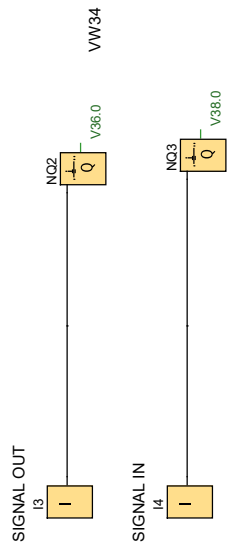


**Network 38: LOGO 4 andmete vahetus**

LOGO 4



***Lisa 3 Siemens LOGO8 programm***



Creator:	Kelly Kangur	Project:	Mobiiline energijaam	Customer:	
Checked:	10.05.2024	Installation:		Diagram No.:	
Date:	31/6/24 4:49 PM/5/13/24 1:42 AM	File:	LOG01.lsc	Page:	2 / 4